

8678

Проф. К. КОДРОН

ГОРЯЧАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

I



1954

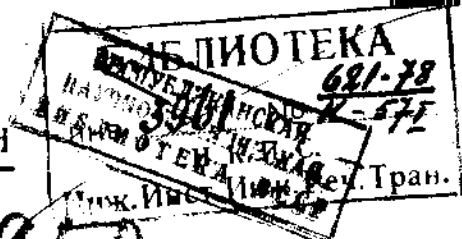
621.7.016.2

Проф. К. КОДРОН

K57

X

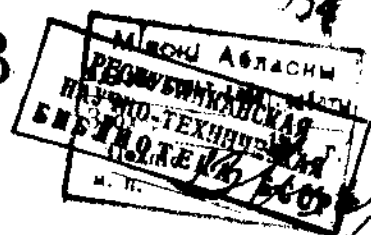
Июль 1950



ГОРЯЧАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

ДЕП

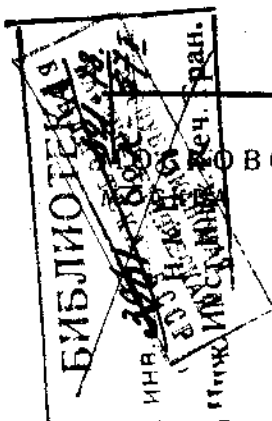
ТОМ I



ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ и ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ
ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ГОРЯЧЕЙ
ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ

ПЕРЕВОД СО ВТОРОГО
ФРАНЦУЗСКОГО ИЗДАНИЯ
С. И. СВИЦКОГО

ПОД РЕДАКЦИЕЙ
ПРОФ. А. В. ПАНКИНА



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
МОСКОВСКОЕ НАУЧНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
„МАКИЗ“ 1929

85-120
1977-8

C. CODRON
PROCÉDÉS DE FORGEAGE
DANS L'INDUSTRIE

Главлит № А 26924.

Тираж 5000—33 л.

Заказ № 1695.

Государственная типография им. Евг. Соколовой, Ленинград, пр. Кр. Командиров. 29.

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА.

Труд К. Кодрона представляет совершенно исключительную по богатству, глубине содержания и в то же время по ясности изложения книгу.

Он захватывает целиком всю область горячей обработки металлов во всем ее промышленно-заводском разнообразии. Французский термин „forgeage“ охватывает все процессы горячей обработки: ковку, прессовку, штамповку, прокатку, гиб и т. д.

Первый том содержит полное теоретическое освещение деформации металлов при обработке давлением, протяжкой, гибом и кручением. Сюда входят процессы ковки под молотами, под прессами, в матрицах и без них, прокатка, операциигиба на бульдозерах и скручивание. Следует обратить внимание на исключительную полноту, простоту и ясность изложения всех теоретических вопросов о деформации нагретого металла под давлением и посредством удара. Подобного освещения, можно утверждать, не имеется ни в английской, ни в немецкой, ни в американской литературе.

На ряду с теорией мы встречаем изложение многочисленных опытов в области ковки, прокатки, протяжки, еще не опубликованных. Ценность их исключительна, так как они дают целый ряд самых необходимых коэффициентов к теоретическим формулам. Эта часть труда представляет ценное учебное пособие.

Второй том носит заводско-промышленный характер. Здесь разбираются важнейшие и современные методы обработки слитков, литых болванок, пакетов, протяжка проволоки круглой и фасонной, протяжка брусков фасонного сечения, изготовление листов кровельного, котельного железа и т. п. Далее описывается производство лопат, киркомотыг, граблей, кос, каменотесного инструмента, штыков, напильников, пил, подков, топоров, болтов, подковных гвоздей, фундаментных болтов, крючков, петель, костылей, заклепок, шурупов, винтов посредством накатки и гаек. Нет ни одной области кузнечно-штамповального дела, ни одного изделия массового с.-х. инвентаря, каменотесного, железноарматурного дела и деталей для связи частей машин, которые не фигурировали бы в этом томе.

Особенный интерес представляют для практики современные методы прокатки под электрическим нагревом, непрерывной прокатки и прокатки тестообразного полужидкого металла.

Автору удалось демонстрировать всю виртуозность прокатки, как метода массового изготовления изделий мелкой и средней металлопромышленности.

Третий том касается крупных машинных железоделательных производств.

Здесь мы встречаемся с производством валов и осей всевозможного назначения: трансмиссионных, железнодорожных, автомобильных

и, главным образом, кривошипных валов; далее идет описание производства рельсов разных сечений, вагонных колес и вообще колес разных сечений, автомобильных колес, бандажей, стальных кабелей, цепей, рессор; далее изложено производство труб различными методами, производство котлов и сосудов и, наконец, горячая часть производства артиллерийских орудий, снарядов, броневых плит.

Книга иллюстрирована большим количеством схематических чертежей, диаграмм и рисунков.

При богатстве и разнообразии как теоретического, так и практического содержания, труд Codron'a будет весьма полезен учащим и учащимся ВТУЗ'ов и заводским работникам самых разнообразных отраслей промышленности: крупной металлообрабатывающей, средней и мелкой полукустарной.

Нужно заметить, что горячие цехи наших заводов отнюдь не могут похвастаться совершенством постановки дела, поэтому наши поковки, штамповки и другие изделия кузнечно-штамповальных цехов стоят дорого.

Особенное значение книга будет иметь для сельскохозяйственного машиностроения и для вагоно-паровозостроения, а также для военной промышленности.

В труде Codron'a имеются подробнейшие сведения о всех новейших методах горячей обработки металлов. На ряду с этим известно, что труды и книги по горячей технологии металлов наших авторов имеют 15—20-летнюю давность (Кнаббе, Гавриленко и др.).

Простота и ясность изложения делают книгу доступной имеющему среднее техническое образование. Весь материал доступен также всякому мастеру, технику, кроме некоторых частей I тома.

Проф. А. Панкин.

Москва, 1 декабря 1928 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

ко 2-му ФРАНЦУЗСКОМУ ИЗДАНИЮ.

Этот труд представляет собою извлечения из мемуара по вопросу горячей обработки металлов, представленного нами на конкурс имени Арбеля, объявленный обществом бывших слушателей Национальных Школ Искусств и Ремесл, и опубликованного в *Bulletin technologique*.

Мы полагаем, что настоящий труд может быть полезен лицам, заинтересованным в деле горячей обработки металлов, а также преподавателям этой прикладной отрасли знания.

Промышленные процессы обработки металлов в наше время настолько разработаны и разнообразны, что полное изложение их составило бы несколько объемистых томов.

Однако, все эти процессы, повидимому совершенно независимые, можно согласовать и подразделить на два класса, ясно отличающихся друг от друга по методу действия машин-орудий; а именно на:

1. Процессы, изменяющие форму без отделения части металла.

2. Процессы, связанные с отделением определенной части металла.

Процессы первого рода составляют предмет настоящей книги, разделяющейся на две отличные друг от друга части.

В первой части мы рассматриваем общие вопросы, касающиеся процессов горячей обработки. Процессы эти расположены по методу действия машин-орудий и делятся на процессы обработки давлением, протяжкой, гибом, кручением или несколькими процессами, скомбинированными вместе.

Для анализа операцийковки, для определения предельных деформаций и потребной для них энергии пришлось произвести длинный ряд сложных опытов с целью установить соответствие теории с практикой.

Мы углубляемся в детали каждого процесса настолько, чтобы сделать людям практики доступными теоретические познания, связующие ремесло с прикладной наукой.

Мы приводим различные способы холодной и горячей обработки металлов медленным и быстрым давлением и такие процессы, как прессовка, ковка, высадка, штамповка, ковка в матрицах, сварка, клепка, отрезка, отпилка.

Различные способы прокатки выделены в обширную главу, так же как протяжка проволоки сквозь волокна, которая получила такое значение в последние годы. Затем следуют процессы гiba, складки, гiba на валках, гiba в матрицах и т. п. Исследование этих процессов дополняется рисунками применяемых инструментов и машин-орудий.

Первая часть нашего труда представляет собой настоящий курс, в котором преподаватели и ученики технических учебных заведений найдут на большинство обсуждаемых вопросов новейшие взгляды, из которых многие еще не появлялись в печати.

Таковы вопросы центробежного сжатия, вытяжки на оправках, гиба на валках, горячей накатки резьбы и т. д. Точно так же читатель найдет некоторые новые данные по продольной, поперечной и геликоидальной прокатке.

Во второй части мы отстраняем теорию, чтобы сосредоточиться на отдельных прикладных вопросах и производствах, на методах превращения сырых материалов в промышленные изделия, на изготовлении более или менее сложных предметов, применяемых в металлических конструкциях всех видов. Детально рассматриваются первоначальные манипуляции обработки сырых металлических масс, пакетов и болванок, затем сортового и фасонного железа, прутьев, проволоки, листов гладких, рубчатых и волнистых, выделка ножовых и скобяных изделий, как, например: заступов, лопат, вил, кос, скоб, подков, различных инструментов; производство гвоздей, винтов, болтовых и заклепочных соединений. Затем идет описание производства отдельных деталей машин, как-то: валов, осей, рычагов, шатунов, кривошипов; железнодорожных материалов, как-то: рельс, колес, бандажей, цепей, рессор, буферных коробок и буферов.

Различные процессы производства труб и сосудов составляют предмет особой главы, так же как и артиллерийское снаряжение: огнестрельное оружие, пушки, снаряды, броневые плиты. Эти различные специальные производства, которые здесь только перечисляются, рассматриваются одинаково методично с указанием большинства превращения выработанных практикой, приводя последовательные превращения формы и поясняя их многочисленными рисунками инструментов и машин-орудий, применяемых в различных металлургических цехах.

Мы приложили все усилия, чтобы дать описание новейших ковочных машин, между прочим тех, в которых используется электрическая энергия для нагрева поковки во время обработки.

Разнообразие рабочих процессов и то важное значение, которое они получили в современных кузнечных и других цехах, производящих обработку изделий без удаления части металла, достаточно оправдывают выпуск специального труда по искусствуковки, применение которой непрерывно расширяется и совершенствуется.

Мы надеемся, что такое содержание нашего труда будет благосклонно принято заведующими кузнечными цехами, инженерами, преподавателями, слушателями технических школ и руководителями предприятий, соприкасающихся с горячей обработкой металлов.

Выпуская это новое издание „Горячей обработки металлов“, пересмотренное и дополненное новыми процессами и достижениями в этой области, мы надеемся, что оно встретит такую же оценку, как и первое издание, тем более, что издатель приложил все усилия к тому, чтобы оно не оставляло желать ничего лучшего, включая и многочисленные рисунки, сопровождающие текст.

Это второе издание, еще больше чем первое, по своему содержанию представляет ценный источник технических знаний, к которому могут обращаться все те, кто интересуется обработкой сырого металла в его элементарной форме.

К. Кодрон.

ВВЕДЕНИЕ.

Широта поставленного на конкурс имени Арбеля вопроса заставила нас рассматривать его только в общих чертах, так как положительно невозможно охватить все то, что в настоящее время происходит в такой обширной области, как металлургические процессы.

Задачей было поставлено изучение процессов и соответствующих инструментов, а потому нам пришлось откинуть целый ряд вопросов, представляющих тем не менее значительный интерес; а также проявить особенную умеренность в описании применяемых в настоящее время заводских машин. Вполне естественно, что, с точки зрения изучения самих процессов, нет никакой надобности входить в детали устройства механизмов.

В нашем труде мы указываем самым тщательным образом первоисточники.

Мы намерены были также изложить наши собственные наблюдения, сделанные при посещении металлургических заводов, но характер конкурса, а также общий характер настоящего исследования, заставили нас несколько воздержаться в этом отношении.

Процессы горячей обработки металлов.

Производственный процесс складывается из ряда операций, ведущих к образованию предмета заданной формы и размеров.

В каждом процессе необходимо иметь в виду:

- 1) материал, из которого изготавливается предмет,
- 2) первоначальную и окончательную форму предмета,
- 3) инструменты и приспособления, способствующие выполнению этой формы и характер их работы.

Процессыковки применяются к текучим и вязким промышленным материалам, к таким, как латунь, свинец, медь, цинк, алюминий, железо, сталь и другие.

Материал не предопределяет способа выполнения формы, но процесс может видоизменяться в зависимости от свойств применяемого материала.

В зависимости от свойств металла, его можно обрабатывать при разных температурах, соответствующих твердому, тестообразному и жидкому состояниям. Операция производится, как это принято выражаться, в холодную или в горячую. Обычно всякий ковочный процесс связывают с предварительным нагреванием металла, хотя как старинные, так и современные процессы позволяют придавать металлу форму, или изменять ее, а также размеры предмета, как в холодную, так и в горячую. Поэтому нагрев не может вполне характеризовать общего процесса изменения формы. Тем не менее, горячая обработка всегда имеет характерное и чрезвычайно важное значение в работе кузнеца.

Металлы обыкновенно коуют в твердом или тестообразном состоянии и только в исключительных случаях в жидком. Процессы сообщения формы металлу в жидком состоянии применяются уже несколько лет. Они представляют большие трудности, в особенности, когда температура расплавленного металла очень высока, и потому применяются только в специальных случаях. Надо думать, что в связи с ростом применения литого железа эти процессы параллельно с другими получат в будущем большое значение.

Так как в настоящее время большинство различных изделий чаще всего выделяется из меди, железа или стали, то мы только скользь касаемся процессов, относящихся к свинцу, цинку, алюминию и другим металлам. Надо сказать, что все эти процессы очень сходны и все что относится к одному металлу, обычно применимо и к другому.

Одна только форма предмета также не может характеризовать процесса. Так, например, одну и ту же штамповку можно получить под молотом, на оправке или в матрице.

Тем не менее, на практике этот процесс называют штампованием, так же как называют операции сгибания, складывания и клепки, основываясь на форме, придаваемой предмету.

Если форма сложная, то приходится прибегать к различным процессам. В этом случае она является результатом нескольких процессов.

Совершенно то же можно сказать об инструменте и приводящем его в действие усилии, так как один и тот же предмет можно получить обработкой различными машинами, отличающимися друг от друга методом действия. Таким образом, процессомковки под молотом называют тот процесс, в выполнении которого молот играет первую роль. Совершенно не важно при этом приводится ли молот в действие вручную, паром, пневматически или гидравлически.

Тем не менее, всегда указывают, произведена ли такая обработка ручным или механическим процессом.

Способ действия машины и характер ее движения также могут послужить основаниями для характеристики процесса. Машина может действовать медленным давлением, живой силой, прокаткой, тягой или гибом, кручением и т. д., или производить одновременно несколько из этих механических деформаций. Машина может обладать прямолинейным или вращательным движениями, непрерывными или прерывистыми.

Таким образом, можно сказать, что ни одним элементом в отдельности нельзя охарактеризовать процесса в целом, отчего чаще всего операция характеризуется преобладающим фактором процесса.

Эти замечания относятся к искусству механической обработки металлов вообще. Если мы хотим ограничиться областью кузнечного дела, то необходимо для нее найти специальную характеристику. Можно сказать, что путемковки можно получать как совершенно законченные изделия, так и полуфабрикаты, требующие дальнейшей точной обработки иными рабочими процессами, другими инструментами, придающими предмету окончательные размеры путем удаления части материала в виде стружек, тогда как при ковочном процессе форма, за ничтожными исключениями, достигается без удаления материала.

Отсюда вытекает, что процессковки можно характеризовать, как процесс обработки без изменения количества материала.

Эта-то характеристика и послужила основанием и пределом содержания настоящего исследования.

Операция обработки металлов без отделения материала.

Операции обработки металлов без отделения части материала выполняются при помощи таких машин и инструментов, как молоты, наковальни, формы, оправки, штампы, обжимы, матрицы и прочее.

Эти инструменты или совершенно независимые, или составляют главные элементы машины, в которой они работают. Так как главной целью настоящего исследования являются инструмент и процесс, то мы оставляем в стороне все вопросы, связанные с передачей энергии инструменту.

Методическая классификация инструментов и операций не может быть установлена вполне рационально.

Так как одни и те же формы можно получить с различными инструментами и, наоборот, с одним инструментом воспроизвести различные формы, то в основу классификации можно было бы одинаково принять классификацию формы или инструментов.

Поэтому классификацию следовало бы первоначально основывать только на простейших геометрических формах, образуемых различными известными инструментами. В этом случае процесс выполнения характеризуется формой.

С практической точки зрения так именно и следует поступить, потому что форма изделия предопределяется конструкцией и, основываясь на форме, выбирают тот или другой инструмент, видоизменяя его, если то требуется, для получения лучших результатов.

Но прежде чем выбирать машину и инструмент и пустить их в дело, надо знать их пригодность, их мощность. С другой стороны число машин невелико, тогда как формы различны до бесконечности. Кроме того, действие машины и инструмента обыкновенно не сложно, вследствие чего немногочисленные элементы их действия (давление, удар, гиб и т. п.) можно использовать, как базу классификации небольшого количества основных процессов, которые мы рассматриваем в первую очередь.

Этот вопрос составляет задачу первой части настоящего исследования. Во второй части мы рассмотрим процессы выполнения более или менее сложных форм различных механических конструкций, деталей машин, скобяных и пожевых изделий, военных материалов, приводя только главные из них, так как в противном случае получился бы излишне многотомный труд.

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ.

ГЛАВА I.

Основные процессы работы машин-орудий и их классификация.

Машины-орудия обычно действуют или непосредственным давлением на всю поверхность обрабатываемого предмета или только на часть ее. Они действуют также протяжкой, гибом или кручением, при чем часто эти деформации имеют место одновременно.

Различные действия машин-орудий вызывают перемещение или сдвиги кристаллоидов металла, окончательная группировка которых зависит от формы инструмента и относительного движения его и обрабатываемого предмета.

Различные операцииковки, т.е. обработки без удаления материала, можно классифицировать, как то сделано на таблице 1, принимая за основание классификации характер действия орудия, а именно: давление, протяжку, изгиб и кручение или их сочетание.

Таблица 1.

Классификация процессов горячей обработки металлов.

Способ действия инструментов	Относительное движение инструмента и изделия	Соответствующие операции
Медленное или быстрое, прерывистое или непрерывное, непосредственное давление на всю поверхность металла.	Возвратно-прямолинейное, колебательное или вращательное.	Сжатие или прессование.
Непосредственное прерывистое или непрерывное давление на отдельные части поверхности металла.	Возвратно-прямолинейное или колебательное, круговое, винтовое.	Ковка под молотами, вытяжка, выглаживание, выравнивание, ручное штампование, высадка, ковка на оправках, ковка в матрицах, выдавка труб, штампование, клепка, сварка, пробивка отверстий пуансонами, резание зубилами, резание ножницами, продольная разрезка, пила.
		Продольная прокатка, поперечная прокатка, калибровка, накатка резьбы и профилей.

Способ действия инструмента	Относительное движение инструмента и изделия	Соответствующие операции
Протяжка (волочение).	Прямолинейное.	Протяжка проволоки, правка, растяжка, протяжка профилей, калибровка.
Гиб.	Прямолинейное или круговое.	Сгибание, складывание, разгибание, гиб коленом, гиб валками, разгибание валками и выправка, навивка, загиб бортов, фальцовка, штампование молотками, штампование в матрицах пуансонами, формование, выдавка.
Кручение.	Круговое.	Скручивание.
Нагревание и охлаждение (инструмент—тепло).	—	Деформация, закалка, отжиг.

II. Процессы действия непосредственным непрерывным давлением на всю поверхность металла (прессование).

При непосредственном, медленном и непрерывном давлении, действующем на всю поверхность болванки, стремятся увеличить ее однородность, сближая между собой кристаллоиды металла.

Металл помещается в прочной форме, орудием служит плунжер пресса, действующий на часть поверхности массы или на стенки формы так, чтобы давление передавалось всем частям металла. Если последний находится в тягучем, почти жидком состоянии, а при остывании склонен принимать губчатый характер, то достаточно сильное давление способствует усадке, сближает кристаллоиды, уменьшает объем пузырьков газа и препятствует образованию раковин и внутренних пустот.

Прессование металла в тестообразном состоянии это—совершенно современный процесс ¹⁾. Он получает все большее и большее применение при отливке стальных болванок, предназначенных для изготовления изделий, подвергающихся очень сильным напряжениям, как, например, пушки, обода маховиков, гребные валы, бандажи.

Этим процессом также пользуются для улучшения качества меди, бронзы, латуни, свинца, цинка.

Принцип процесса заключается в том, что металл помещают в форму или изложницу, закрытую с одного конца (рис. 1). Другой конец ее—открытый. Почти жидкий или тестообразный металл собирается плунжером, при чем из него удаляются содержащиеся в нем газы.

Непосредственное сжатие применимо также к твердому металлу, доведенному до вишнево-красного каления, например, к железу и стали, а также к отливкам, например, к вагонным дисковым колесам и поршням тепловых двигателей. Усилие прилагается или на всю поверхность одновременно, или последовательно на ее отдельные

¹⁾ Этот процесс испытывался в Сент-Этьенне и на заводе М. М. Биетрикс и К^о около 1865 года, затем с 1870 года на заводах Иосиф Витворт и К^о в Манчестере, где его постоянно применяют для всех больших отливок.

части, в зависимости от большей или меньшей мощности располагаемого орудия. Таким образом достигается улучшение свойств металла, в особенности если операция повторяется несколько раз. Действие орудия распространяется на всю массу металла помощью соответственной формы (рис. 2).

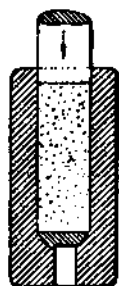


Рис. 1.

Сжатие при высокой температуре применяется также для сварки железных предметов или для усиления связи сваренных уже частей. Как известно, частицы металла могут свариваться даже в холодном состоянии, образуя однородный металл, при условии приложения достаточно сильных давлений, достигающих:

для свинца	20	кг/мм ² .
„ олова	30	„
„ цинка	50	„
„ меди	60	„

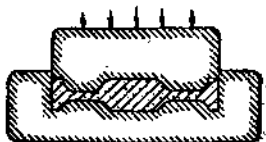


Рис. 2.

Наконец, сжатию в холодном состоянии подвергают небольшие железные, стальные, свинцовые, цинковые, медные и другие изделия, с целью увеличить твердость их поверхности.

Усилия прессования.

Чем ближе находится металл к жидкому состоянию, тем действительнее прессование и тем меньше потребное для процесса усилие. Так, например, железо или сталь в жидком состоянии легко сжимаются при давлении в 0,1 кг/мм², при тестообразном состоянии требуется давление по меньшей мере 5 кг/мм², при вишнево-красном калении от 20 до 30 кг/мм², а при нормальной температуре — от 60 до 100 кг на квадратный миллиметр.

Свинец в тестообразном состоянии, при температуре около 300°С, требует для сжатия его кристаллоидов давления всего лишь в 0,05 кг/мм². При нормальной температуре давление должно быть между 2 и 4 кг/мм², чтобы оказать надлежащее действие.

Сжатие оказывается действительным, если величина длительного давления достигает значений, приведенных в таблице 2. Эти данные взяты из различных опытов и практики.

Таблица 2.

Металлы	Температуры										
	0°	100°	200°	300°	400°	500°	600°	1000°	1200°	1400°	1600°
Сталь обыкновенная	80	80	80	80	75	70	60	40	10	4	—
Железо сварочное или литое	60	60	60	60	55	50	40	30	10	8	3
Медь	30	30	30	30	30	28	25	10	2	—	—
Латунь	50	50	50	50	45	40	30	10	2	—	—
Цинк	15	12	10	8	5	1	—	—	—	—	—
Свинец	4	3	2	0,2	—	—	—	—	—	—	—

Для сжатия стальной болванки, поверхность которой равняется одному квадратному метру, потребовалось бы давление, колеблющееся при температурах от 1000° до 300° между 4 000 000 и 80 000 000 кг. Эти цифры показывают, что прессование необходимо производить, пока металл находится в жидком или тестообразном состоянии. В противном случае операция для крупных железных, стальных и медных болванок становится невыполнимой.

Энергия прессования.

Расчитать механическую работу, требующуюся для прессования болванки, не совсем просто, так как составные элементы работы в период операции являются переменными величинами.

Простое при жидком металле явление становится сложным, когда масса находится в тестообразном состоянии, т.е. по мере охлаждения расплавленного металла. В случае жидкого состояния можно пренебречь трением о стенки, а также допустить, что давления распространяются равномерно по всей массе и на оболочку, которая предполагается нерастяжимой. При этих условиях потребное усилие пропорционально поверхности, на которую производится давление, а механическая работа пропорциональна достигаемому сокращению объема.

Возьмем призму с размерами граней a , $b = ma$ и $c = m'a$, при чем m и m' больше единицы. Допуская, что давление на единицу поверхности — величина постоянная и обозначая ее через p , коэффициент сокращения объема V через $\frac{1}{k}$, получим давление на каждую из граней призмы:

$$abp = ma^2p, \quad acp = m'a^2p, \quad bcp = mm'a^2p.$$

Для уменьшения механического усилия необходимо, чтобы давление было направлено на меньшую из поверхностей призмы.

Что касается механической работы, она будет той же, независимо от того, которая из поверхностей подвергается воздействию давления орудия. Эта работа выражается уравнениями:

$$W = abp \times \frac{c}{k} = acp \times \frac{b}{k} = bcp \times \frac{a}{k} = \frac{mm'a^3p}{k} = \frac{Vp}{k}.$$

Возьмем для примера стальную болванку, у которой $a = 0,20$ м, $b = 2a = 0,40$ м, $c = 10a = 2,00$ м, $p = 4\,000\,000$ кг на квадратный метр, при чем $\frac{1}{k} = \frac{1}{10}$.

Давления на каждую из граней будут: на грань (ab) — 320 000 кг, на грань (ac) — 1 600 000 кг, на грань (bc) — 3 200 000 кг.

Работа орудия будет:

$$\frac{Vp}{k} = \frac{0,160 \times 4\,000\,000}{10} = 640\,00 \text{ кг. м.}$$

При этом расчете не принималась во внимание скорость действия орудия. Предполагается, что она незначительна, и потому можно не считаться с силами инерции. Таким образом, видно, что для сжатия стали в данных условиях требуется затрата механической энергии в 400 кг. м на кубический дециметр.

В случае тестообразного или твердого металла трение о стенки получает большое значение, так как давления уже не распространяются столь равномерно. Части, подвергшиеся давлению, раньше других

сжимаются и смещаются первыми. Для преодоления сопротивлений, возрастающих по мере сжатия металла и увеличивающегося трения, необходимо большее давление.

Допустим для простоты, что в каждом сечении, нормальном направлению усилия, развиваются средние равные между собой давления и что перемещение сжимающего орудия распределяется равномерно по всей длине призмы. При таких условиях произведенная работа представляет сумму элементарных работ, зависящих от закона изменения приложенного усилия.

Это усилие будет уравниваться: 1) сопротивлением сжатию кристаллоидов металла, 2) сопротивлением скольжения металла по стенкам формы.

В зависимости от того, направлено ли усилие продольно на торцевую поверхность или поперечно на одну из боковых поверхностей, сопротивление скольжению получает большее или меньшее значение. Этим обстоятельством, с точки зрения уменьшения работы до минимума, нельзя пренебрегать.

Изменения приложенного усилия изображаются кривой ABC (рис. 3), где AD — длина хода сжимающего орудия.

Сопротивление скольжению изменяется согласно кривой AEF .

Если AD соответствует величине перемещения сжимающего орудия, то работы этих сил пропорциональны площадям $ABCD$ и $AEFD$. Назовем через p среднее давление, через pf среднее сопротивление скольжению для трех нижеследующих случаев приложения усилия к каждой из боковых граней призмы.

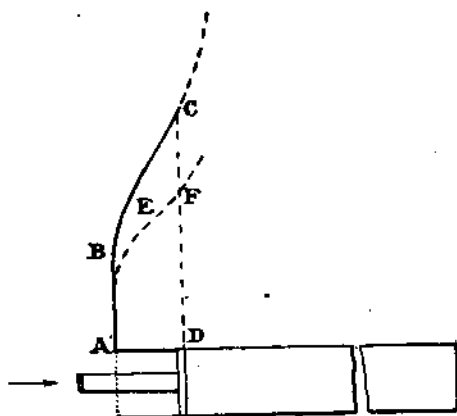


Рис. 3.

Допустим, например, что $p = 10\,000\,000$ кг на квадратный метр, а коэффициент трения $f = 0,2$. При таком условии $pf = 2\,000\,000$ кг, и можно написать, что:

$$\begin{aligned} 2(a+b)cpf &= 2(0,20 + 0,40) \times 2,00 \text{ м} \times 2\,000\,000 = 4\,600\,000 \text{ кг.} \\ 2(a+c)bpf &= 2(0,20 + 2,00) \times 0,40 \text{ м} \times 2\,000\,000 = 3\,520\,000 \text{ кг.} \\ 2(b+c)apf &= 2(0,40 + 2,00) \times 0,20 \text{ м} \times 2\,000\,000 = 1\,920\,000 \text{ кг.} \end{aligned}$$

Значения внутренних усилий сжатия будут:

$$\begin{aligned} 1) abp &= 0,20 \times 0,40 \times 10\,000\,000 = 800\,000 \text{ кг.} \\ 2) acp &= 0,20 \times 2,00 \times 10\,000\,000 = 4\,000\,000 \text{ кг.} \\ 3) bcp &= 0,40 \times 2,00 \times 10\,000\,000 = 8\,000\,000 \text{ кг.} \end{aligned}$$

Таким образом, прилагаемые усилия должны быть соответственно:

$$\begin{aligned} 1) 4\,800\,000 + 800\,000 &= 5\,600\,000 \text{ кг.} \\ 2) 3\,520\,000 + 4\,000\,000 &= 7\,520\,000 \text{ кг.} \\ 3) 1\,920\,000 + 8\,000\,000 &= 9\,920\,000 \text{ кг.} \end{aligned}$$

Принимая сокращение объема болванки равным $1/10$, соответствующие работы выразятся:

$$\begin{aligned} 1) 5\,600\,000 \times \frac{2,00}{10} &= 1\,120\,000 \text{ кг. м.} \\ 2) 7\,520\,000 \times \frac{0,40}{10} &= 300\,800 \text{ кг. м.} \\ 3) 9\,920\,000 \times \frac{0,20}{20} &= 198\,400 \text{ кг. м.} \end{aligned}$$

Эти цифры показывают, какое влияние на усилие сжатия оказывает трение о стенки. Ясно, что для сокращения затраты энергии до минимума орудие должно действовать на меньшую из поверхностей призмы. Отсюда можно сделать вывод, что если сжимать длинную призму в продольном направлении, то трение верхних частей ее уравновесило бы приложенное усилие, и сжатие не достигло бы ее нижних частей. Таким образом, существует предельная длина болванки, которую нельзя переходить, чтобы трение не сделалось чрезмерным. Необходимо также, чтобы возрастание трения шло постепенно во всей массе металла. Поэтому наибольшая длина цилиндрических болванок обычно не превышает 6,00 метров при максимальном диаметре в 1,50 метра.

При конической изложнице (рис. 4) трение значительно меньше, так как реакции дают составляющие в направлении давления P .

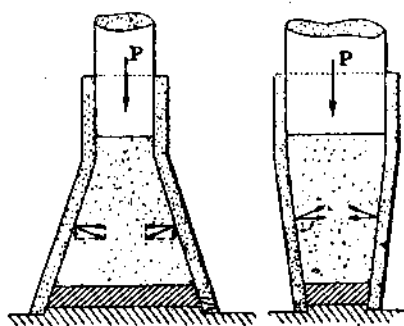


Рис. 4.

Рис. 5.

Наоборот, при изложнице, формы изображенной на рис. 5, трение значительно выше, так как реакции дают вертикальные составляющие, направленные противоположно давлению P . Если в изложнице имеются углы, то сжатие при том же давлении P будет больше, так как металл, сжимаясь, должен отойти от стенок.

Избыток давления на верхнюю часть призмы весьма желателен, когда эта часть металла неоднородна, — это обычно и бывает в стальных болванках, отлитых в вертикальном положении.

Чтобы избежать соприкосновения головки гидравлического поршня с металлом и чтобы иметь возможность прессовать всю поверхность болванки в момент ее затвердевания, давление прилагается к ней посредством газа, водяных паров или углекислоты. При таких условиях сжатие прекрасно распространяется во всей массе металла, не исключая жидких его частей; таким образом уменьшается пористость отливки.

Этому процессу при прессовании стальных болванок иногда отдают предпочтение перед непосредственным прессованием, так как в последнем случае вокруг давящего поршня образуется корка. Сопротивление этой корки возрастает по мере затвердевания настолько, что может прекратить всякое воздействие давления на центральные слои металла, находящиеся еще в жидком состоянии. Кроме того, непосредственное сжатие поршнем не может вполне предупредить пористости металла, который в верхней части болванки образует небольшие, но довольно многочисленные раковины, отчего многие металлурги мало доверяют этому процессу. Тем не менее, основываясь на результатах сравнительных опытов, произведенных в 1885 году на Обуховском заводе, приходится отдать предпочтение непосредственному процессу прессования стали в жидком и твердом состояниях при давлениях от 4 до 5 кг на квадратный миллиметр.

III. Центробежное прессование.

Если быстро вращать в закрытой оболочке массу жидкого металла, то в ней развиваются центробежные давления, предупреждающие образование раковин и сжимающие между собой кристаллоиды путем

выноса на наружную окружность более тяжелых частиц металлической массы.

Центробежный процесс был впервые применен Грандом ¹⁾ для изготовления свинцовых муфт. Свинец наливался в изложницу, установленную на горизонтальном валу (рис. 6). Этот процесс дает прекрасные результаты при производстве медных, латунных и стальных кольцеобразных отливок, но практичен только при умеренных скоростях вращения. Он вполне действителен, если центробежная сила достаточно велика и металл находится в жидком или тестообразном состоянии. В этом случае, так как отливка удерживается на своей поверхности изложницей, центробежная сила вызывает только радиальные давления без напряжений на окружности и только нормальные к стенкам реакции.

Значения потребных давлений можно рассчитать по основному уравнению центробежной силы, действующей на элементарные массы, находящиеся на наружной или внутренней поверхностях кубка, если толщина его невелика, или по всей массе в направлении радиуса, и толщина металла значительна.

Рассмотрим небольшой кубик металла с ребрами в 0,001 м, плотностью δ , находящейся на расстояниях r и r' от центра вращения, и напишем зависимость:

$$f = \frac{mv^2}{r} = \frac{Pv^2}{gr}$$

Это выражение центробежной силы, действующей на элемент поверхности, вращающейся, со скоростью v . Так, например, на свинцовом кубике в 1 мм в стороне при плотности металла $\delta = 11\,400$, скорости v , равной 30 м, и внутреннем радиусе в 0,250 м, развивается давление

$$f = \frac{0,000,000,001 \times 11\,400 \times 30^2}{9,8 \times 0,250} = 0,0042 \text{ кг/мм}^2.$$

Такое давление не в состоянии оказать какого-либо действия на свинец, находящийся в твердом состоянии при обычной температуре, так как для деформации его в этом случае требуется давление по крайней мере в 0,5 кг на квадратный миллиметр.

При скорости 60 метров, вполне достижимой при современных средствах, центробежное давление расплавленного чугуна или стали при внутреннем радиусе в 0,50 м и плотности $\delta = 7\,700$ кг будет:

$$f = \frac{Pv^2}{gr} = \frac{0,000,000,001 \times 7\,700 \times 3\,600}{9,8 \times 0,500} = 0,0056 \text{ кг/мм}^2.$$

Такое значение центробежной силы все еще слишком мало и потому недействительно.

Число оборотов изложницы при этом должно быть около 1 200 в минуту.

Полное давление массы на стенки при значительной толщине слоя.—Отдельные центробежные силы, действующие на кристаллоиды, расположенные друг за другом по направлению радиуса, складываются

¹⁾ Патент 2 апреля 1870 года.

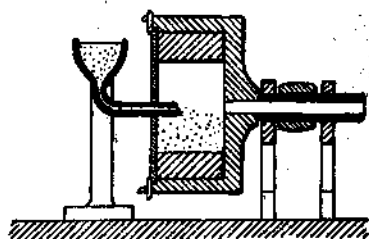


Рис. 6.



и развивают максимальное давление на элемент окружности или площади соприкосновения с изложницей, если последнюю предположить нерастяжимой. Эти давления можно рассчитать, разложив слой на элементарные объемы. Возьмем элементарный объем $y \cdot da \cdot dy \cdot l$, заключенный между двумя радиусами, составляющими между собой угол α , и находящийся на расстоянии y от оси вращения, и назовем через l длину кольца (рис. 7).

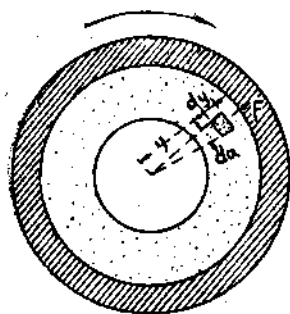


Рис. 7.

Развивающаяся на этом элементе центробежная сила будет:

$$da \cdot y \cdot dy \cdot l \cdot \delta \cdot \frac{v^2}{gy} = da \cdot y \cdot dy \cdot l \cdot \delta \times \\ \times \frac{4\pi^2 y n^2}{3600 g} = \frac{\pi^2 l \delta n^2}{900 g} da \cdot y^2 \cdot dy$$

Сумма всех этих элементарных сил, действующих на все кольцо с наружным радиусом r и внутренним радиусом r' , будет:

$$F = \frac{\pi^2 l \delta n^2}{900 g} \int_0^{2\pi} d\alpha \int_{r'}^r y^2 dy = \frac{2\pi^3 l \delta n^2}{900 g} \left(\frac{r^3 - r'^3}{3} \right).$$

Так как металл находится в жидком состоянии, то центробежная сила распределится равномерно по всей наружной поверхности $2\pi r l$, так что давление на единицу поверхности будет:

$$p = \frac{2\pi^3 l \delta n^2}{2\pi r l \times 900 g} \left(\frac{r^3 - r'^3}{3} \right) = \frac{\pi^2 \delta n^2}{900 g r} \left(\frac{r^3 - r'^3}{3} \right) = \frac{\omega^2 \delta}{g r} \left(\frac{r^3 - r'^3}{3} \right).$$

Приложим эту зависимость к латунному кольцу плотностью $\delta = 8500$, радиусом $r = 0,190$, радиусом $r' = 0,150$, вращающемуся со скоростью 600 оборотов в минуту.

В этом случае:

$$\omega = \frac{3,14 \times 600}{30} = 62,80 \text{ м и } \omega^2 = 3944.$$

Подставляя в предыдущее уравнение, получим

$$p = \frac{3944 \times 8500}{9,8 \times 0,190} - \left(\frac{0,190^3 - 0,150^3}{3} \right) = 20850 \text{ кг/м}^2 \text{ или } 0,02 \text{ кг/мм}^2.$$

Таким образом, если сторона кубического элемента равняется 1 мм и мы имеем дело только с одним элементом, находящимся у наружной окружности, развивающаяся центробежная сила будет всего только:

$$\frac{Pv^2}{gr} = \frac{8500 \times 0,000000001 (62,80 \times 0,190)^2}{9,0 \times 0,190} = 0,0006 \text{ кг},$$

что дает понятие о влиянии толщины $(r - r')$ кольца.

Давление на внутренней поверхности кольца можно рассчитать согласно пропорции $\frac{f}{r} = \frac{r'}{r}$. Оно будет:

$$f' = f \frac{r'}{r} = \frac{0,0006 \times 0,150}{0,190} = 0,00047 \text{ кг/мм}^2;$$

т.е. значительно меньше давления $p=0,02$ рассчитанного выше. Скорость на окружности будет всего лишь $\omega r = 62,80 \times 0,190 = 11,93$ м, а потому ее можно легко увеличить для получения более высоких давлений, дающих лучшие результаты. В данном случае мы воспользовались размерами и скоростями, принятыми М. Монтэном (Montain) в Кестльфорде (Йоркшайр—Англия) при производстве латунных колец, которые затем прокатываются и разрезаются на части. Стенки формы покрываются смесью из масла и угля или графитом во избежание приставания металла. После охлаждения, вследствие происходящей усадки, кольцо легко вынимается; кроме того, форму для облегчения выемки можно делать слегка конической.

Возьмем стальное кольцо с внутренним радиусом в 0,50 м и наружным в 0,700 м, вращающееся со скоростью в 1200 оборотов в минуту. Максимальное давление на элемент окружности будет:

$$p = \frac{\omega^2}{g r} \left(\frac{r^3 - r'^3}{3} \right) = \frac{15775 \times 7700}{9,8 \times 0,70} \left(\frac{0,70^3 - 0,50^3}{3} \right) = 1\,293\,100 \text{ кг/м}^2,$$

или 1,29 килограмма на квадратный миллиметр, тогда как на внутренней части кольца мы нашли давление, равное 0,0056 кг/мм².

Таким образом видно, что недостатком центробежного процесса является развитие слишком слабых давлений на внутренних частях кольца.

На заводе Лувроиль (Louvroil) центробежный процесс успешно применялся для изготовления болванок стальных труб непосредственным вращением изложницы вокруг горизонтальной оси электромотором.

Ось вращения изложницы может быть также вертикальной. В последнем случае наружная поверхность отливки принимает профиль внутренней поверхности формы, тогда как внутренняя поверхность кольца принимает в разрезе форму дуги параболы.

Влияние усадки металла.

Если продолжать вращение изложницы после того как наружный диаметр кольца сделался от охлаждения меньше диаметра изложницы, то эта усадка вызывает в различных диаметральных сечениях кольца неравномерное распределение давлений, равнодействующие которых N можно, однако, довольно точно рассчитать по центробежным силам f , действующим на отдельные элементы $y \cdot da \cdot dy \cdot l$ кольца.

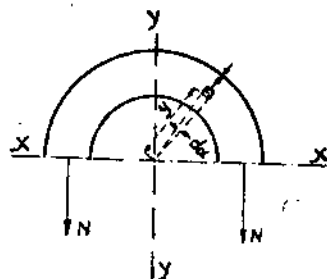


Рис. 8.

Если разрезать кольцо в диаметральной плоскости XX (рис. 8), то внутреннее равновесие восстанавливается приложением двух наружных сил N . Проекция всех сил f и N на ось yy дают равенство:

$$2N - \int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} f \cos \alpha = 0.$$

Так как

$$f = \frac{\pi^2 f_0 n^2}{900g} da y^2 dy,$$

то, подставляя, имеем:

$$2N = \frac{\pi^2 f_0 n^2}{900g} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} \cos \alpha \, da \int_{r'}^r y^2 dy = \frac{\pi^2 f_0 n^2}{900g} (2) \left(\frac{r^3 - r'^3}{3} \right),$$

или

$$N = \frac{\omega^2 f_0}{g} \left(\frac{r^3 - r'^3}{3} \right).$$

Среднее разрывное усилие в каждом сечении $S = (r - r') l$ будет

$$R = \frac{N}{S} = \frac{\omega^2 f_0}{g} \left(\frac{r^3 - r'^3}{3(r - r')} \right).$$

Это усилие значительно больше радиальных давлений.

Мы уже нашли, что максимальное давление на окружности равняется:

$$p = \frac{\omega^2 f_0}{gr} \left(\frac{r^3 - r'^3}{3} \right),$$

следовательно,

$$\frac{R}{p} = \frac{r}{r - r'} \text{ и } R = p \frac{r}{r - r'}.$$

В приведенном числовом примере для латуни мы имеем:

$$R = \frac{0,02 \times 190}{190 - 150} = 0,095 \text{ кг/мм}^2.$$

или около 0,1 кг на квадратный миллиметр. Этого значения вполне достаточно для увеличения диаметра кольца, так как металл находится в тестообразном состоянии и подвергся понижению температуры около 200°, вызывающему диаметрально усадку, приблизительно равную:

$$2 \times 0,001868 \times 0,380 = 0,0014 \text{ м.}$$

Отсюда видно, что во время перехода металла из жидкого состояния в твердое происходит явление сжатия, уравновешиваемое центробежными усилиями, стремящимися увеличить диаметр кольца, результаты которых трудно поддаются анализу.

С применением приведенных выше уравнений мы встретимся снова, когда дойдем до вопросов геликоидальной прокатки при больших скоростях.

Энергия центробежного сжатия. — Энергию, потребную для приведения массы кольца к максимальной установившейся скорости, можно рассчитать, складывая энергии элементарных масс, определенные выше в виде $dM = \frac{y da \cdot dy \, dl}{g}$. Для доведения скорости массы dM от нуля до $v = \omega r$ у требуется затрата энергии

$$\frac{dM v^2}{2} = \frac{y da \, dy \cdot f_0}{g} \cdot \frac{\omega^2 y^2}{2} = \frac{\omega^2 f_0}{2g} da y^3 dy.$$

Полная энергия, потребная для всей массы M кольца, выразится уравнением

$$W = \frac{\omega^2 l d}{2g} \int_0^{2\pi} d\alpha \int_r^R y^2 dy = \frac{2\pi\omega^2 l d}{2g} \left(\frac{R^4 - r^4}{4} \right) = \frac{\pi\omega^2 l d}{g} \left(\frac{(R^2 + r^2)(R^2 - r^2)}{4} \right).$$

Так как полный вес равен

$$P = \pi(R^2 - r^2)l d,$$

то, подставляя его, имеем:

$$W = \frac{P\omega^2}{g} \left(\frac{R^2 + r^2}{4} \right) = M\omega^2 \left(\frac{R^2 + r^2}{4} \right).$$

Если вращение поддерживается в продолжение некоторого времени, причем остальные движущиеся массы неизвестны, то рассчитать потребной энергии нельзя. Поэтому приходится исходить из производимой полезной работы.

Пользуясь выражением работы и прилагая его к данному латунному кольцу, рассчитываем, что:

$$P = \pi(R^2 - r^2)l d = 3,14 (0,190^2 - 0,150^2) 0,090 \times 8500 = 32,67 \text{ кг.}$$

Подставляя это значение в выражение живой силы, получим:

$$W = \frac{P}{g} \omega^2 \left(\frac{R^2 + r^2}{4} \right) = \frac{32,67 \times 3944}{8,8} \left(\frac{0,0361 + 0,0225}{4} \right) = 193 \text{ кг. м.}$$

Таким образом видно, что энергия центробежного сжатия сравнительно не очень велика и что этот процесс с точки зрения механического коэффициента полезного действия можно считать вполне экономичным.

Центрофугирование можно весьма успешно применять при отливке стальных болванок, небольших и средних размеров, располагая изложницы в радиальном направлении. Так, например, на рис. 9 четыре изложницы расположены симметрично и состоят каждая из двух отдельных частей для разборки их после операции.

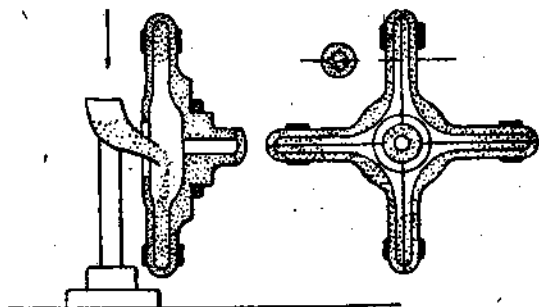


Рис. 9.

Изложницы составляют одно целое с полым валом, вращаемым от электромотора со скоростью от 500 до 600 и более оборотов в минуту в зависимости от размера. После приведения изложницы во вращение, определенное количество расплавленной стали наливается в небольшую воронку, из которой она протекает через центральную трубу в камеру центрофуги. Под действием центробежной силы металл растекается в изложницы, заполняя их до определенного уровня. После окончательного затвердения металла вращение еще продолжают несколько минут, после чего изложницы разбирают.

Таким образом достигается весьма действительное сжатие металла, более полное удаление газов, предупреждаются усадочные

раковины (рис. 10) и часто весьма значительные потери металла в виде обрезков. Мы предложили этот способ в 1908 году, но нам неизвестно, был ли он кем-либо использован.

Сталелитейные заводы Никроппа в Швеции ¹⁾ начиная с 1895 г. применяют центробежный процесс, укрепляя изложницы вертикально, каждую на отдельной платформе, соединенной шарнирно с вертикальным валом. Когда вал находится в состоянии покоя, изложницы занимают вертикальное положение. По мере увеличения скорости вращения вала, изложницы постепенно наклоняются, пока не придут в горизонтальное положение. Скорость вращения регулируют так, чтобы развить давление в 30 раз больше давления столба металла, находящегося в изложнице, что вполне достаточно для получения хороших отливок.

При высоте отливки в 1 м давление на квадратный миллиметр будет:

$$p = 0,000\,001\text{ м}^2 \times 1,00\text{ м} \times 7700 \times 30 = 0,231\text{ кг/мм}^2.$$

Рис. 10.

Это довольно высокое давление требует большой скорости вращения, так как оно должно развиваться на частицах, ближайших к оси вращения. Соответствующее устройство описывается во второй части, в главе, трактующей о производстве стальных болванок.

IV. Процессы сжатия металла местными поперечными давлениями.

Местные давления производятся на металл в твердом состоянии и на изделия, не заключенные в оболочку, со всех сторон.

В зависимости от направления давлений, прилагаемых к предмету, последний деформируется различно, материал перемещается к свободным от давления частям изделия в направлениях наименьшего сопротивления.

Если болванка прессуется по всей своей боковой поверхности (рис. 11),—ее сечение уменьшается, а длина увеличивается. Такое давление сближает кристаллоиды прессуемых частей и улучшает качество металла.

Чаще всего давления прилагаются только к небольшой части боковой поверхности (рис. 12). Таким последовательным приложением давления ко всем частям болванки достигается ее удлинение, вытяжка, сжатие кристаллоидов и изменение ее формы.

Если давление действует только на часть поверхности (рис. 13), то, в то время как эта часть удлиняется, сечение ее уменьшается, так как металл перемещается в стороны. Таким образом можно по желанию уменьшать сечение болванки.

При сжимании болванки кольцевой формы по всей окружности диаметр ее уменьшается и увеличивается толщина кольца (рис. 14), причем удлинение его получается сравнительно небольшим. При сжимании кольца снаружи и изнутри (рис. 15) оно удлиняется. Если давления местные, то и деформации также носят местный характер, а в случае противоположно направленных давлений (рис. 16 и 17) кольцо сплющивается.

¹⁾ Revue Industrielle, 3 февраля 1894 г.

Продольные давления.

При продольном сжатии болванки со свободными боковыми поверхностями она укорачивается, а сечение сжимаемых частей увеличивается (рис. 18). Этот процесс называется высадкой. Высадка будет тем больше, чем меньше поперечное сечение по отношению к длине болванки. Это вполне понятно, так как давление на единицу поверхности больше при меньшем сечении, нежели при большем. Если сечение изделия одинаково, то при приложении давления к концам сечение в середине изделия увеличивается больше других (рис. 19), при условии, что последнее представляет собой короткую массивную призму, не подвергающуюся изгибу.

В сечениях на концах, где непосредственно дают твердые части, развиваются сцепление и трение, препятствующие до некоторой степени перемещению ближайших к торцам частей металла.

Волокна металла изгибаются по отношению к продольному направлению действия усилий. Этот изгиб волокон вызывает образование поперечных составляющих, которые отодвигают волокна от центра к окружности. Так как изгиб волокон достигает наибольшего

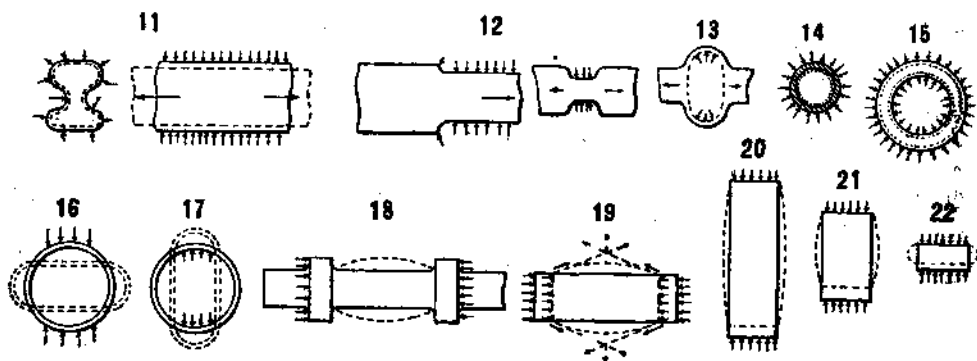


Рис. 11—22.

значения в середине изделия, то в этой-то части и происходит наибольшая высадка, остающаяся симметричной.

Если даже допустить, что в торцах не происходит трения, то тем не менее изделие все же будет высаживаться в своей средней части, так как концы его могут расширяться только от бокового давления, производимого соседними уже уклонившимися частями, на которые производимые центральными кристаллодами боковые усилия оказывают преобладающее действие.

Влияние толщины изделия и величины поверхности давления.

Можно заметить, что при том же сжатии болванок одинакового сечения, но различной вышины, происходят различные деформации. Длинная болванка (рис. 20) лучше сохраняет свою цилиндрическую форму, так как диаметр ее мало изменяется. Болванки средней длины (рис. 21) принимают вздутую форму с максимальным диаметром в середине, а короткие (рис. 22) дают резко выраженное вздутие.

Ясно, что однородный металл сопротивляется деформациям во всех направлениях приблизительно одинаково. Если металл изотропичен, то для деформации короткого цилиндра требуются большие

усилия, нежели для такой же деформации длинного цилиндра. При одном и том же сжатии короткая болванка требует большей затраты энергии, нежели длинная.

Если деформации не геометрически подобны, то они не сравнимы между собой. Однако деформации несомненно зависят от толщины болванки, когда последняя подвергается противоположным давлениям на ее основания и имеет возможность свободно расширяться в стороны. Если болванки геометрически подобны, то усилия сжатия, вызывающие одинаковые деформации, можно сравнивать между собой.

V. Опыты прессования металла.

Для выяснения влияний толщины поковки, размера прессуемой поверхности и изменения давлений необходимо произвести простые опыты, которые сводятся к сжатию опытных цилиндров под испытательным прессом.

Приведем следующие опыты, произведенные нами.

Опыт сжатия медных опытных цилиндров. — На таблице 3 приведены результаты опытов прессования меди в холодном состоянии. Цилиндр высотой 20 мм подвергался давлению на торцы. Начальное давление, вызывающее деформацию, которую можно обнаружить обычными изме-

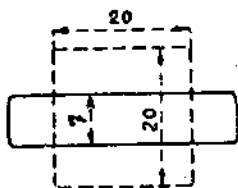


Рис. 23.

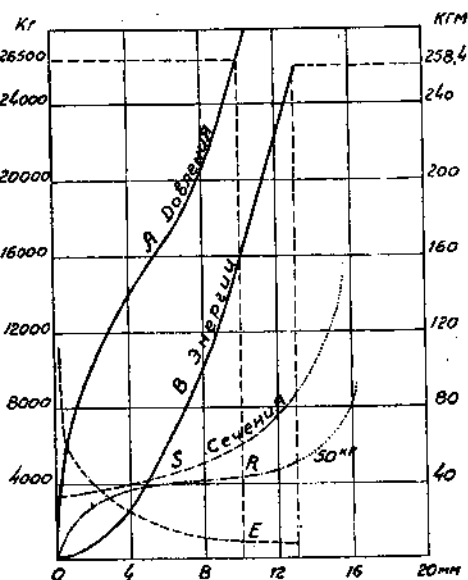


Рис. 24.

рительными инструментами, а именно 0,1 мм, равняется 5,7 кг/мм², тогда как для сжатия цилиндра на 10 мм требуется 42,2 кг, а на 13 мм, или что то же до высоты цилиндра в 7 мм (рис. 23)—50 кг/мм². На диаграмме (рис. 24) кривая R дает последовательные изменения этих усилий, а кривая S изменения средних сечений, отнесенных к постоянному объему.

Для различных металлов, при сжатии их в холодном состоянии, мы нашли следующие средние значения R.

	Свинец	Медь	Латунь	Железо	Мягкая сталь
	* К и л о г р а м м ы				
При сжатии цилиндра диаметр. и высот. 20 мм на 1 мм	0,8	30	50	50	60
То же при сжатии цилиндра в 10 мм	1,3	42	80	80	100
То же высотой в 15 мм	2,7	70	140	150	180

Отсюда видно, что при небольшой толщине трение, развивающееся на основаниях и противодействующее боковым перемещениям металла, настолько возрастает, что даже чрезвычайно большие давления не вызывают заметных деформаций, в особенности, если давления прилажаются к значительным поверхностям.

Поэтому давление на всю поверхность металла неприменимо при тонких изделиях. Так, например, никогда на практике не прессуют по всей поверхности листового металла для уменьшения его толщины. Для этого потребовались бы громадные давления. Например, на 1 кв. метр раскаленного до-красна железного листа потребовалось бы давление в 30 кг/мм², т.-е. усилие в 30 миллионов кг. Самые большие из достигнутых до сих пор давлений не превышают 14 миллионов килограмм. Поэтому уменьшение толщины тонких листов возможно путем местных и повторных давлений, производимых прессом или молотом, или же путем непрерывного сжатия на прокатном стане и других машинах, развивающих местные давления.

Опыт над сжатием медных цилиндров, результаты которого приведены в таблице 3, дает закон быстрого возрастания давлений или усилий, изображенный кривой *A* (рис. 24); абсциссы диаграммы представляют сжатия цилиндра, а ординаты—соответствующие усилия.

Отсюда следует, что для расчета энергии, затраченной на деформацию или на сжатие, изображенное абсциссой *X*, необходимо вычислить интеграл

$$\int_0^x f(y)dx.$$

На диаграмме нанесена также кривая *B* потребной на сжатие энергии.

Надо заметить, что кривые получают бесконечно большие значения при абсциссе, равной высоте цилиндра, т.-е. при уменьшении его высоты до нуля. Это указывает на непрактичность прессования болванок незначительной толщины путем давления на большие поверхности.

Влияние скорости.

Усилия сжатия и, следовательно, затрачиваемая энергия зависят также и от скорости приложения давлений, т.-е. от продолжительности операции. Это обстоятельство особенно подтверждает всю важность сравнительных опытов на одном и том же испытательном прессе и с одинаковыми опытными цилиндрами.

В таблице 4 приведены результаты опытов, произведенных над сжатием двух свинцовых опытных цилиндров при разных скоростях. Вторая скорость была в 15 раз больше предыдущей.

Результаты опытов изображены графически на рис. 25. Кривые показывают, что давления возрастают вместе со скоростью и что при скорости в 15 раз большей, увеличение усилий довольно значительно. Отношение затраченных энергий остается почти постоянным, равным 1,5.

Отсюда можно сделать вывод, что силы сцепления кристаллоидов и силы инерции развивают переменные сопротивления, зависящие от скорости, причем при одной и той же деформации, соответствующей определенному сжатию опытного цилиндра, механическая энергия возрастает с увеличением скорости.

При постоянных температурах металла, для уменьшения затраты энергии, необходимо работать медленно. При прессовании нагретых

Таблица 4.

Опыты прессования при различных скоростях.

Характеристика образца	Сжатие	Довольно быстрое прессование		Очень медленное прессование		Продолжительность опытов
		Давление	Энергия	Давление	Энергия	
Свинцовые цилиндры. Диаметр = 18,2 мм. Высота = 30,2 мм.	0	—	—	—	—	Полная продолжительность опыта при быстром ходе пресса 18 мин.
	0,5	210	—	160	—	
	1	290	—	230	—	
	2	350	—	260	—	
	3	390	—	280	—	
	4	430	—	290	—	Полная продолжительность опыта при очень медленном ходе пресса 4 часа 12 минут.
	5	430	—	280	—	
	10	470	2,3	330	1,7	
	16	650	5,2	450	3,6	
	20	1 800	17,0	1 100	—	
	25	8 800	30,6	6 700	20,5	
	27	28 000	67,0	22 500	45,7	
	27,5	38 000	—	23 000	—	

металлов, температуры быстро падают в течение операции, отчего сопротивление металла деформации, незначительное в начале, быстро возрастает по мере охлаждения. Поэтому надо действовать быстро, так как в противном случае потребная работа чрезвычайно возрастает.

При сжатии свинцовых трубок высотой 40 мм с наружным диаметром в 40 мм и внутренним диаметром 31 мм со скоростью вдвое большей в одном случае нежели в другом, получились результаты, приведенные в таблицах 5 и 6 и изображенные кривыми A_p , B_p на рис. 26.

Различия между затрачиваемыми энергиями вполне характерны, но они меньше, нежели при предыдущих опытах. Приращения остаются почти постоянными до сжатия на 25 мм, а затем увеличиваются. Можно заметить, что при трубке данных размеров, усилие, пока деформация выражается образованием складки, вследствие изгиба стенок, остается почти постоянным. Как только складка совершенно осядет, начинается собственно сжатие и усилие быстро возрастает.

В таблице 7 приведены результаты опытов сжатия трубки цилиндра вдвое меньшей высоты, т.е. в 20 мм. Кривые B_p и C_p

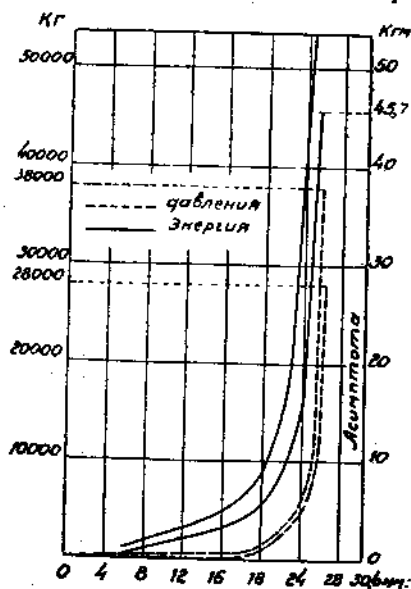


Рис. 25.

Таблица 5.

Опыты прессования свинцовых трубок.

Характеристика образца	Последо- ватель- ное да- вление	Сжатие	Загра- ченная энергия	Примечание
	кг	мм	кг.м	
Свинцовые трубки (А)	80	0,25	—	(См. рис. 27)
	180	0,50	—	Обрисовывается складка.
Размеры:	370	1	—	Складка обрисовывается отчетливо.
	450	2	—	
Высота = 40 мм.	520	3	—	Складка сильно увеличи- вается.
Наружный диаметр = = 40,1 мм.	580	4	—	
Внутренний диаметр = = 31 мм.	610	5	—	Складка осаживается.
Сечение = 571 мм ² .	590	10	4	Складка достигает обоих оснований.
	575	15	—	
Нагрузки на мм ² на- чального сечения	555	20	8	Продолжительность опы- тов до сжатия в 35 мм — 22 мин.
$\frac{80}{571} = 0,14$ кг/мм ²	540	25	—	
	565	27	12	Полная продолжитель- ность опыта — 34 мин.
$\frac{180}{571} = 0,315$ кг/мм ²	850	28	—	
	1 250	29	14	Трубка сплющивается, принимая овальное сече- ние, и совершенно исче- зают все следы отверстия.
$\frac{370}{571} = 0,65$ кг/мм ²	2 250	30	—	
	2 900	31	17	
	4 000	32	20	
	7 600	34	28,5	Энергия рассчитывалась по диаграмме давлений, принимая за абсциссы сжатия, а за ординаты по- следовательные значения.
	9 500	35	35,5	
	15 000	36	48	
	20 000	36,5	—	
	26 500	37	66	$W_x = \int_0^x f(pdx).$
	32 000	37,25	—	
	35 000	37,50	80	
	44 000	38	104	

Таблица 6 и 7.

Опыты прессования свинцовых трубок.

Характеристика образца	Последо- ватель- ные да- вления	Сжатия	Загра- ченная энергия	Примечание
	кг	мм	кг.м.	
Свинцовые трубки (В)		0,25	—	
	90	0,50	—	
Размеры:	180	1	—	
	440	2	—	
Высота = 40 мм.	530	3	—	Складка обрисовывается.
Наружный диаметр =	630	5	—	
= 40,1 мм.	650	8	4	
Внутренний диаметр =	630	9	—	Складка обрисовывается
= 31 мм.	620	10	—	отчетливо.
Сечение = 571 мм ² .	610	13	—	Складка сильно увеличи-
	605	14	—	вается.
	550	17	8	
	540	18	—	Складка осаживается.
	540	19	—	
	555	20	—	
	550	26	12	Прямые линии трубки
	565	27	—	начинают исчезать.
	900	28	14	
	1 600	28,5	—	
	2 000	29	15	Прямые линии трубки
	3 000	30	17,5	совершенно исчезают.
	3 900	31	20,5	Опыт продолжался
	4 950	32	24	11 мин.
	9 400	33	29	
	11 000	34,5	—	
	16 000	35	50,5	
Свинцовая трубка (С)	520	1	—	
	680	2	—	
Размеры:	760	3	—	
	770	4	—	
Высота = 20 мм.	780	5	—	
Наружный диаметр =	1 180	10	5	
= 40 мм.	5 500	15	—	Продолжительность опыта
Внутренний диаметр =				до сих пор 8 мин.
= 31 мм.	10 200	16	24	
	17 000	16,5	—	
	22 000	17	37	
	31 000	17,5	—	
	40 500	18	61	
	45 000	18,3	80	Полная продолжитель-
				ность опыта 20 мин.

ясно показывают влияние высоты цилиндра на результаты опытов, которые сравнимы между собой лишь в том случае, когда их производят над одинаковыми опытными цилиндрами.

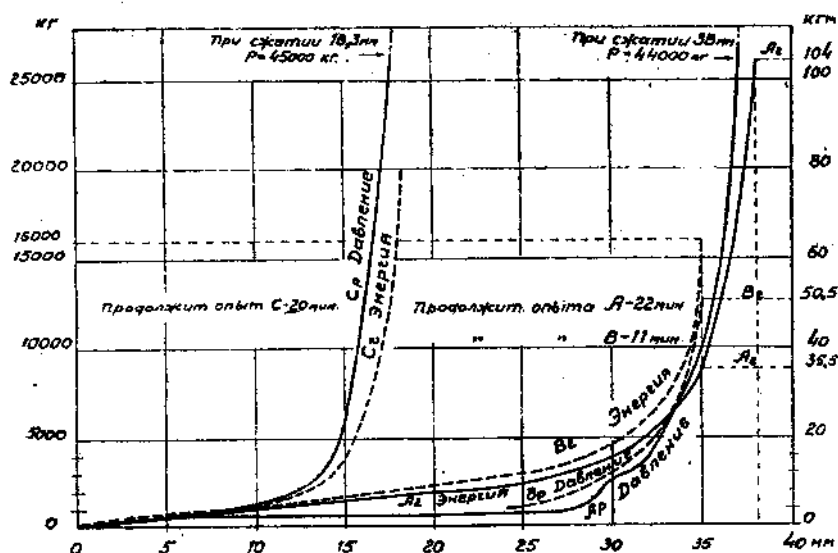


Рис. 26.

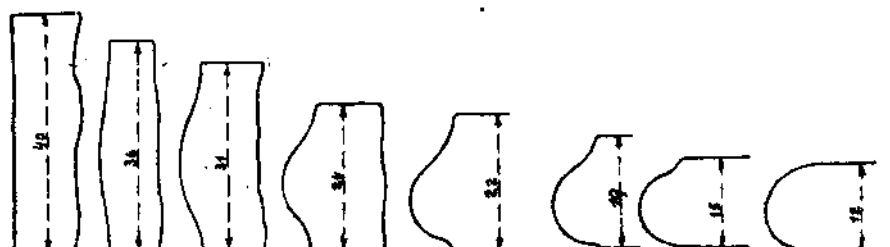


Рис. 27.

Влияние высоких температур.

Температура имеет громадное значение при горячей ковке металлов в твердом состоянии. Надо заметить, что при холодной ковке, при температуре 15—20°, железный опытный цилиндр данной толщины должен подвергаться давлению в 40 кг на кв. миллиметр, тогда как для сжатия его при температуре в 500° достаточно давления в 34 кг/мм², при температуре 1000° давление уже не превышает 12 кг/мм², а при температуре от 1400 до 1500° — 4 кг/мм². Давление, таким образом, достигает нуля при температуре от 1600 до 1700°. Эти цифры относятся к опытным цилиндрам высотой равной диаметру. Они получены путем опытов, проведенных с возможно большей скоростью, дающей еще, однако, возможность измерять усилия ¹⁾, т.е. в условиях, когда температура остается почти постоянной. Такие условия довольно трудно достижимы, в особенности на поверхности соприкосновения, так как металл у основания охлаждается очень

¹⁾ В машине Делалоз, которой мы пользовались, усилия измерялись автоматически.

быстро. Это обстоятельство является крупным препятствием к применению пресса для обработки более толстых болванок.

Опыты с нагретыми до температур, соответствующих различным побежалым цветам металла, опытными цилиндрами высотой 22 мм и диаметром 20 мм дали результаты, приведенные в таблице 8.

Таблица 8.

Металлы	Температуры											
	0°	100°	200°	300°	400°	500°	600°	700°	800°	1000°	1200°	1400°
Обыкновенная литая сталь	50	50	49	48	47	44	40	36	28	18	8	0
Сварочное железо	40	40	39	38	37	34	30	25	20	12	8	4
Латунь	40	39	38	36	34	30	26	22	16	5	—	—
Медь	30	30	29	28	25	22	18	12	8	4	—	—
Цинк	10	9	7	3	0,5	—	—	—	—	—	—	—
Свинец	3	2	1	0,1	—	—	—	—	—	—	—	—

Сопротивление деформациям сжатия при ковке металлов, при различных температурах — (приведенные данные относятся только к небольшим цилиндрам, сжатым приблизительно до половины высоты при небольшой скорости прессования).

Эти опыты, произведенные с относительной точностью, были повторены над довольно большим количеством опытных цилиндров и при мало отличающихся друг от друга условиях.

Различные металлы дали кривые изменений, аналогичные с изображенными на диаграмме (рис. 28). Не

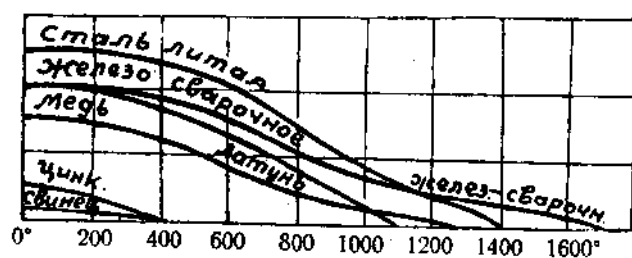


Рис. 28.

следует упускать из виду, что все значения ординат относительные, и что при различных опытных цилиндрах и при разных скоростях, сопротивления могут изменяться в очень широких пределах. Они особенно уменьшаются в тех случаях, когда опытные цилиндры очень толсты, как то видно из нижеследующих опытов.

Опыты прессования стальных цилиндров при различных температурах и постоянном давлении.

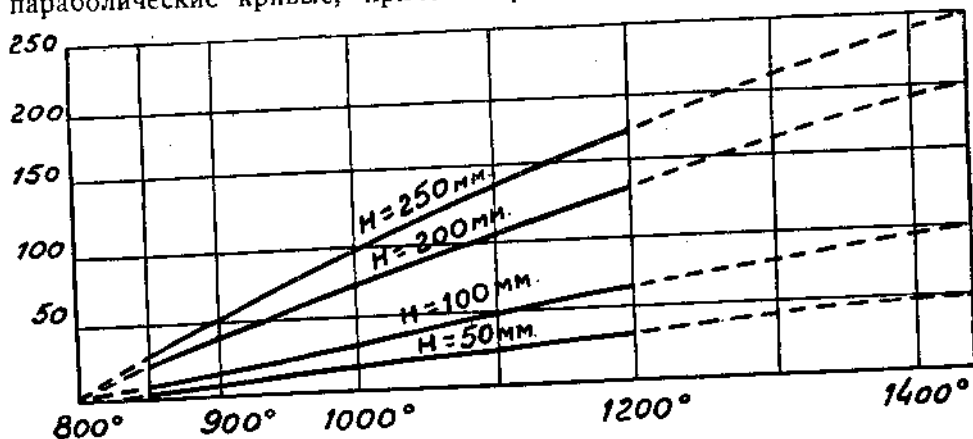
Влияние высоты изделия становится очевидным, когда действуют одинаковыми максимальными усилиями и сравнивают сжатия цилиндров различной высоты. Мы производили опыты с прессом в 400 тонн над тремя сериями опытных цилиндров из стали средней твердости, диаметром в 200 мм и высотой в 50, 100, 200 и 250 мм: $R_r = 55 \text{ кг/мм}^2$, $C = 0,35\%$, $Mn = 0,34\%$, $Si = 0,11\%$.

Опытные цилиндры каждой серии нагревались до температуры около 850°, 1000° и 1200°.

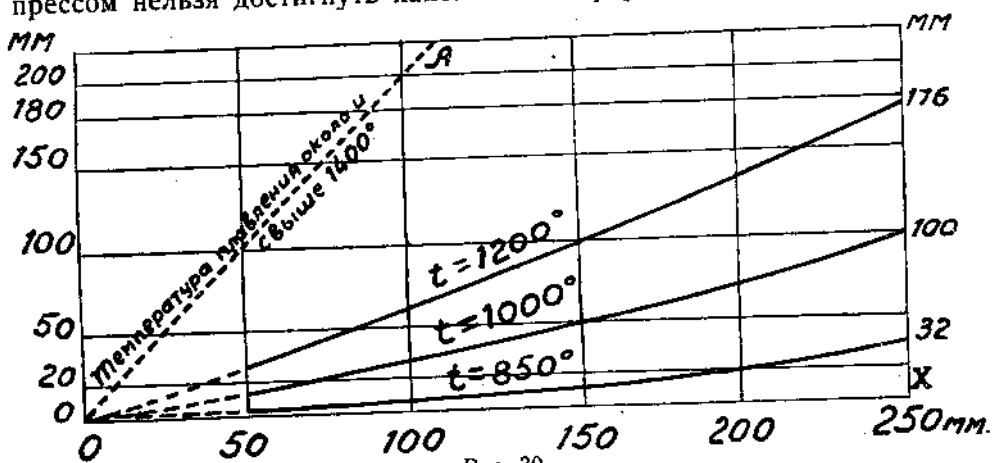
Каждый цилиндр подвергался максимальному, возможно быстро возрастающему давлению. При этом наблюдались следующие сжатия:

Начальн. высота	55 мм	100 мм	200 мм	250 мм	Темпер.
Сжатие в мм	2 14 32	8 32 64	20 72 136	32 100 176	850° 1000° 1200°

Эти значения, представленные графически на рис. 29, где на оси абсцисс отложены температуры, дают при экстраполировании слабо параболические кривые, причем вершина параболы каждой из них



соответствует температуре плавления или несколько высшей температуре. Ординаты кривых соответствуют высоте опытного цилиндра. Кривые сходятся у температуры около 800°, при которой под 400-тонным прессом нельзя достигнуть какой-либо деформации.



Можно видеть, что сжатия при температурах в пределах от 800° до 1200° приблизительно пропорциональны высоте цилиндров.

Принимая за абсциссы высоты опытных цилиндров, а за ординаты их сжатия, получим изображенные на рис. 30 кривые, показывающие, что в пределах произведенных опытов при одной и той же температуре, сжатия пропорциональны высотам цилиндров.

Когда температура достигает точки плавления или переходит ее, кривая становится прямой линией OA , направленной под углом в 45° к линии OX . При низких температурах, не допускающих никаких деформаций, сжатие равно нулю; оно отложено на оси OX . Кривые при температурах в 850° , 1000° и 1200° , слегка выпуклые в направлении оси OX , по мере приближения к линии OA становятся вогнутыми. Как бы незначительна ни была высота цилиндра, она всегда будет сокращаться, если только температура достаточно высока, чтобы приложенное давление могло воздействовать, не вызывая охлаждения соприкасающихся с инструментом частей.

Окончательное давление $P = 400\,000$ кг, отнесенное к среднему сечению деформированного опытного цилиндра среднего диаметра d_1 , дает давление на единицу поверхности:

$$p = \frac{4P}{\pi d_1^2}.$$

Из равенства объемов имеем:

$$\frac{\pi d^2 h}{4} = \frac{\pi d_1^2 h_1}{4},$$

где d — диаметр, равный в данном случае 200 мм, h — начальная высота и h_1 — окончательная высота.

Отсюда

$$d_1 = d \sqrt{\frac{h}{h_1}}.$$

Подставляя значение d_1 в выражение p , получим:

$$p = \frac{Ph_1}{0,8d^2h} = \frac{400\,000}{32\,000} \cdot \frac{h_1}{h} = 125 \frac{h_1}{h}.$$

Принимая за переменную величину высоту цилиндров, при температуре 1000° , получается диаграмма, изображенная на рис. 31:

при $h = 50$ мм	100 мм	200 мм	250 мм
$h_1 = 36$ "	68 "	128 "	150 "
$d_1 = 236$ "	244 "	250 "	258 "
$p = 9,2$ кг/мм ²	8,5 кг/мм ²	8,0 кг/мм ²	7,5 кг/мм ²

С другой стороны, принимая за переменную величину температуру T , при той же самой высоте 200 мм опытных цилиндров получаются высоты, изображенные диаграммой на рис. 32.

при $T = 850^\circ$	1000°	1200°
$h_1 = 180$ мм	128 мм	64 мм
$d_1 = 210$ "	250 "	354 "
$p = 11,3$ кг/мм ²	8 кг/мм ²	4 кг/мм ²

Эти данные не только выявляют влияние высоты или толщины поковки на результаты работы прессы, но точно так же и преобладающее влияние высоких температур. Нечего говорить, что на практике, за исключением немногих случаев, не приходится производить таких сильных абсолютных сжатий, как полученные с цилиндрами при температуре в 1200° , дающих следующие относительные сжатия:

$$\frac{32}{50} = 0,64; \quad \frac{64}{100} = 0,64; \quad \frac{136}{200} = 0,68; \quad \frac{176}{250} = 0,70.$$

При вытяжке больших болванок придерживаются обычно сжатий 0,1 на каждый удар, чтобы не вызывать слишком сильных поперечных сдвигов металла. Что касается продольных сдвигов металла, являющихся целью операции, то они достигаются давлением на различные части поверхности.

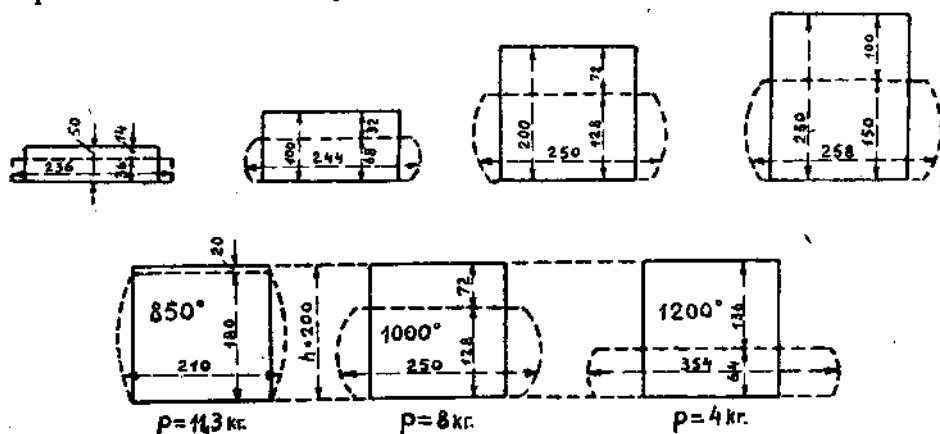


Рис. 31—32.

Представляют интерес также значения окончательных давлений. Они значительно ниже давлений, соответствующих меньшим значениям толщины, приведенным в предыдущей таблице; эти давления включают в себе также прибавку необходимую для различных работ, в особенности при ковке в матрицах. Для стали средней твердости принимают, что давление при нормальной ковке и средней температуре 1000° изменяется от 8 до 12 кг/мм².

Энергия прессования различных металлов.

Интересно сравнить затраты механической работы при прессовании одинаковых опытных цилиндров из различных металлов. Для этого достаточно исследовать диаграмму (рис. 33), на которой приведены кривые давлений и кривые энергий сжатия для стали, железа, меди, бронзы, латуни, цинка и свинца при холодном прессовании.

Лобопытно, что кривые давлений и, следовательно, кривые энергий для железа, латуни и бронзы очень мало отличаются друг от друга. При сжатии свыше 6 мм сопротивление железа уменьшается и железные цилиндры трескаются в большей мере нежели латунные и бронзовые, однако последние иногда дают внезапные разрывы.

Кривая давлений для стали мало отличается от кривой давлений для латуни и бронзы. При некоторых сортах стали, применявшихся во время опытов, эти кривые даже совпадали, а потому мы выбрали ту из них, которая отличалась больше других.

Железные опытные цилиндры сильно трескаются по окружности.

Кривая давлений для меди очень плавная, что указывает на высокую текучесть этого металла. Разрывов на окружностях опытных цилиндров нельзя было обнаружить невооруженным глазом.

Цинк также деформируется очень плавно и занимает промежуточное место между медью и свинцом; он обладает высшей степенью ковкости и текучести при слабом сопротивлении. Аналогично кривой

давлений для свинца, можно построить кривые для других металлов, нагретых до высокой температуры и обладающих в этих условиях

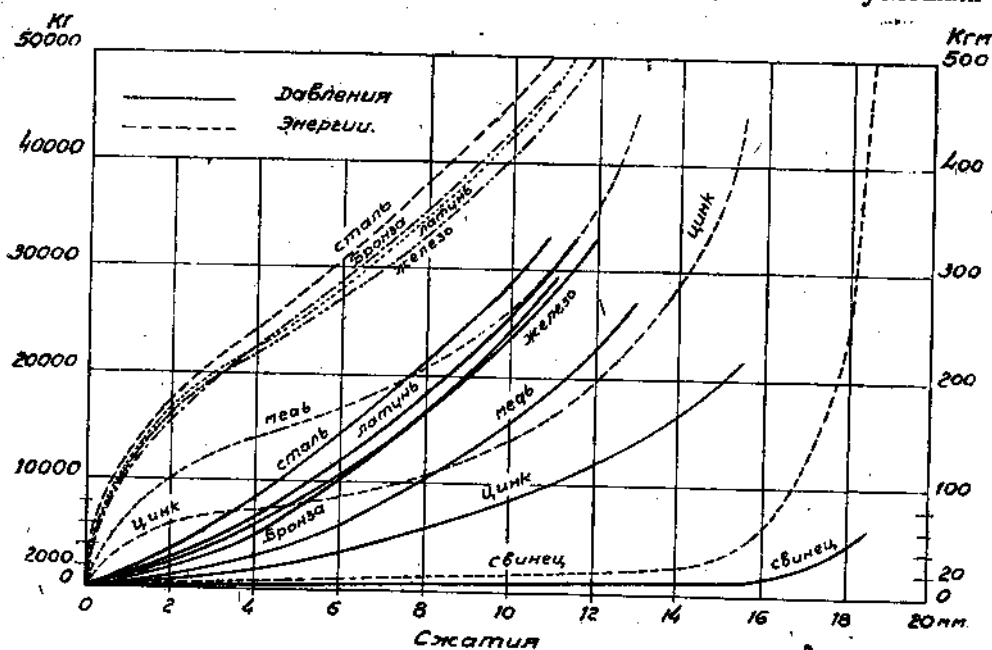


Рис. 33.

высокой степенью ковкости. Эти кривые для железа и стали располагаются между кривыми для меди и свинца в зависимости от высоты температуры.

Особенное значение текучести.

Деформации опытных цилиндров показывают, что при очень ковком и текучем металле, как, например, при свинце, можно производить сильные сжатия, сопровождающиеся удлинением окружности и увеличением поверхности свыше чем на 400%. Однако при таких металлах как волокнистое железо, сжатие вызывает или стремится вызвать трещины и внутренние разрывы, происходящие от расхождения изгибающихся волокон металла (рис. 34 и 35). Этих трещин надо особенно опасаться при малой текучести металла, не поддающегося боковым сдвигам. Поэтому местные деформации приходится умерять. Их лучше повторять, действуя попеременно на противоположные поверхности, как, например, когда поковка квадратного сечения; этим способом уравновешиваются возникающие сдвиги волокон, вызывающие разрывы.

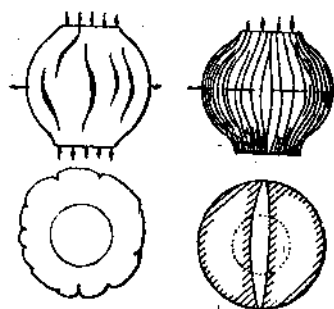


Рис. 34—35.

Таким образом, при ковке больше всего приходится считаться с текучестью металла являющейся самым важным его свойством.

Ковкость металла стоит только на втором месте. Металл может быть очень мягким и вместе с тем обладать ничтожной текучестью, не допускающей местного сжатия без трещин и разрывов.

По этой причине, при выделке болванок для изготовления цилиндрических роликов их отливают сферической формы, чтобы можно было пропрессовывать до самой сердцевины. Болванкам для изготовления листов и броневых плит, по той же причине, придают шаровидную поверхность. Таким образом, металл окружности подвергается меньшему удлинению, а центральная часть болванки сильнее уплотняется.

Необходимо быть хорошо знакомым с текучестью металлов при различных температурах. Поэтому диаграммы изменений сопротивления сжатию необходимо дополнить кривыми текучести металла. Обычно это свойство характеризуется поперечным сжатием сечений брусков при испытаниях на разрыв. Так как коэффициент сокращения сечения выражается отношением $\frac{S'}{S}$ сечений в месте разрыва, то им можно также пользоваться и для выражения текучести, принимая для этого его дополнение до единицы $1 - \frac{S'}{S}$. Таким образом, чем больше это дополнение,

тем больше и текучесть металла¹⁾.

Мы не имеем возможности привести здесь результаты опытов над текучестью с цилиндрами диаметром от 3 до 10 мм. Эти опыты привели нас к определению сначала сопротивления разрыву при разных температурах, чтобы иметь возможность относить к ним температуры опытных цилиндров, применявшихся в опытах над текучестью. Последние разрывались при различных установленных заранее нагрузках от нагревания их пламенем или в печи.

Эти два скомбинированных метода дали дополняющие друг друга результаты, средние значения которых изображены кривыми на рис. 36 и 37.

Можно видеть, что обыкновенное сварочное железо при текучести в холодном состоянии, равной 0,20, обладает минимумом текучести при температуре около 360°. Текучесть достигает значения 0,64 при температуре в 600° и сохраняется до температуры в 1300°, после чего быстро понижается и падает до нуля при 1500°. Такое железо необходимо поэтому обрабатывать при температурах между 600 и 1300°.

¹⁾ Степень текучести лучше всего характеризуется удлинением, образующимся в шейке разрываемого образца. Это удлинение можно рассчитать, зная первоначальную длину шейки l и ее удлинение l' . В этом случае: $A_s = \frac{l'}{l}$.

Так как объем в обоих случаях одинаков, т. е. $Sl = S'(l + l')$, то можно написать, что

$$\frac{S'}{S} = \frac{l}{l + l'} = \frac{1}{1 + \frac{l'}{l}} = \frac{1}{1 + A_s} \text{ и } 1 - \frac{S'}{S} = 1 - \frac{1}{1 + A_s},$$

откуда $A_s = \frac{S}{S'} - 1$, а в процентах $A_s \% = \left(\frac{S}{S'} - 1 \right) 100$.

Таким образом, при разных значениях $\frac{S'}{S}$ от единицы до нуля получаются значения, приведенные в следующей таблице:

при $\frac{S'}{S} = \dots$	1	0,90	0,80	0,70	0,60	0,50	0,40	0,30	0,20	0,10	0
$1 - \frac{S'}{S} \dots$	0	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1
$\frac{S}{S'} \dots$	1	1,11	1,25	1,43	1,66	2,00	2,50	3,33	5,00	10,00	∞
$A_s = \frac{S}{S'} - 1 \dots$	0	0,11	0,25	0,43	0,66	1,00	1,50	2,33	4,00	9,00	∞
$A_s \% = \dots$	0	11	25	43	66	100	150	233	400	900	∞

Кривая для литого ковкого железа показывает высокий коэффициент текучести в холодном состоянии (0,60), почему при этой температуре его можно изгибать, не опасаясь трещин. Однако, при температурах между 300° и 550° ковать его не следует, так как коэффициент текучести на протяжении этого критического периода очень мал. Текучесть быстро повышается по мере приближения температуры к 600° и принимает действительное значение, почти равное единице, при температуре 1200°. Вслед затем текучесть быстро понижается между 1200° и 1400° и металл становится хрупким. При критических температурах между 200° и 500° на опытных брусках, вблизи сечения разрыва, обнаруживались многочисленные поверхностные трещины, иногда резко выраженные, указывающие на недостаточную текучесть и на необходимость избегать всяких манипуляций в этот момент. Лучше дать изделию остыть и закончить обработку в холодную или же прибегнуть к повторному нагреванию. Таким образом, если при ковке требуется сильное вытягивание или деформация, литое железо надо ковать при температурах от 700° до 1200°. Текучесть определяют испытаниями на изгиб при разных температурах.

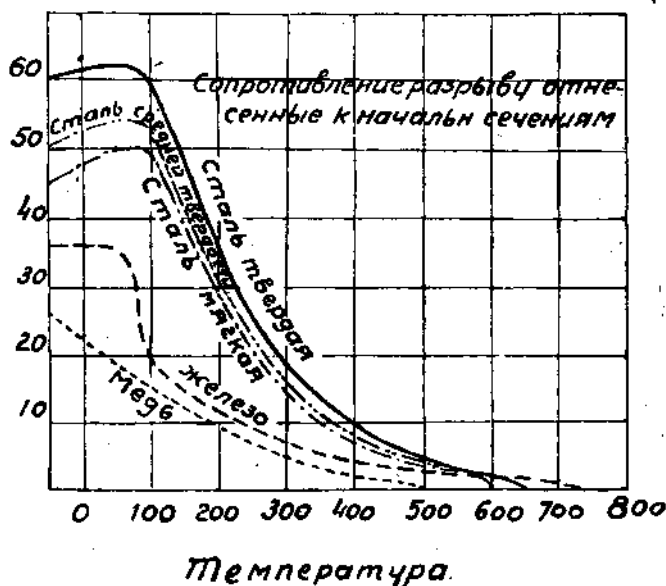


Рис. 36.

Обыкновенные сорта стали вызывают аналогичные замечания. В особенности необходимо знать критические периоды текучести литых сталей с различными содержаниями примесей. Эти периоды чрезвычайно капризны как для литых металлов, так и для металлов, подвергнутых уже значительной вытяжке. Для успешности работы приходится производить предварительные испытания, выясняя лучший метод производства операций, так как в противном случае увеличивается брак. Кривая для меди показывает, что текучесть увеличивается до температуры в 200° и даже 300°, затем понижается между 400° и 700°, затем снова повышается и достигает максимума при температуре около 800°, после

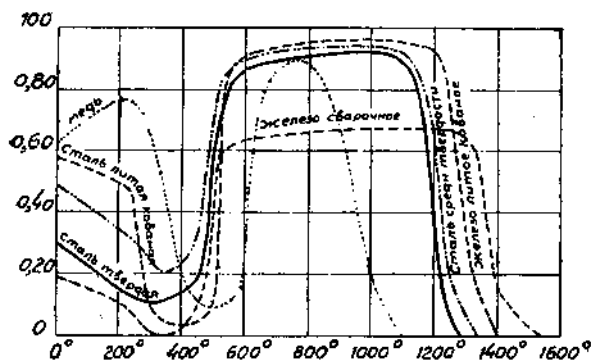


Рис. 37.

с различными содержаниями примесей. Эти периоды чрезвычайно капризны как для литых металлов, так и для металлов, подвергнутых уже значительной вытяжке. Для успешности работы приходится производить предварительные испытания, выясняя лучший метод производства операций, так как в противном случае увеличивается брак. Кривая для меди показывает, что текучесть увеличивается до температуры в 200° и даже 300°, затем понижается между 400° и 700°, затем снова повышается и достигает максимума при температуре около 800°, после

чего, начиная от 900° , снова понижается, достигая нуля при температуре плавления в 1000° . На протяжении критического периода температур по соседству с изломом образуются многочисленные трещины. Таким образом, видно, что периодковки при высокой температуре ограничивается 700° и 900° , тогда как при сравнительно невысоких температурах до 300° металл может обрабатываться без всяких затруднений. При производстве медных изделий сложной формы лучше всего вести работу в холодную с повторными отжигами.

Кривые рис. 38 вычерчены соответственно процентному удлинению A_5 в шейке образца, которое прекрасно характеризует различные степени текучести.

Хорошее литое ковкое железо, между 800° и 1200° , может выдерживать удлинения, равные удлинениям свинца: оно может вытягиваться при прокатке в чрезвычайной степени, тогда как обыкновенное сварочное железо не выдерживает сильной местной вытяжки. Прочие рассмотренные металлы могут выдерживать сильную вытяжку только при высоких температурах, в пределах, указанных соответствующими кривыми.

Так как текучесть металлов при температурах, близких к температурам тестообразного состояния очень незначительна, то в это время необходимо избегать производства каких-либо резко деформирующих операций. Внутренние разрывы крупных болванок, подвергае-

мых сильным местным сжатиям, или внутренним напряжениям, происходящим от быстрого наружного охлаждения, можно приписать недостаточной текучести металла в его центральных частях.

Заметим еще, что латунь при темно-красном калении очень хрупка. Например, при вынимании из печи латунной трубы, с ней надо обращаться чрезвычайно осторожно. Если при переноске уронить трубу с высоты только нескольких сантиметров — она разобьется на куски.

✓ VI. Ковочные прессы.

Операции, требующие приложения постепенно возрастающих давлений, вызвали появление гидравлических и паровых прессов большой мощности, пригодных для обработки поковок всевозможной формы и механических прессов, применяемых преимущественно для прессования изделий небольших размеров.

В настоящей главе мы рассмотрим только прессы общепринятых нормальных типов.

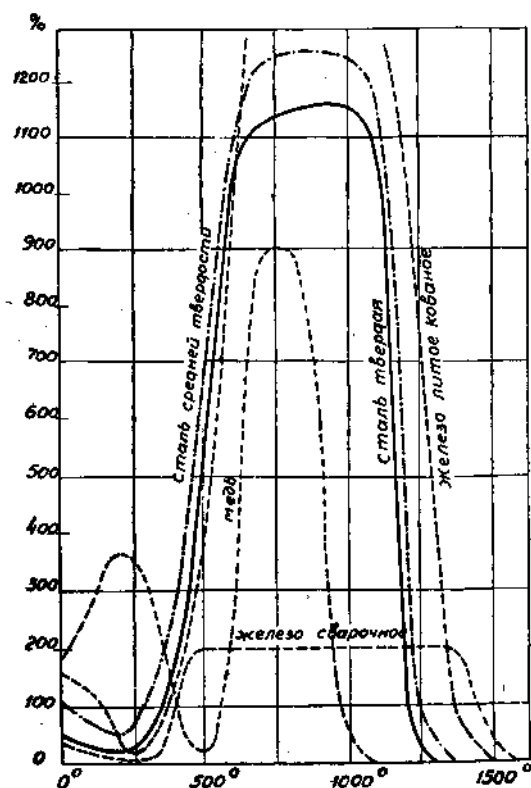


Рис. 38.

Гидравлическим прессом пользовались для обработки свинца с начала XIX века. Позднее, в 1847 году Фокс (Fox) применил пресс дляковки (в чистом смысле этого слова) других металлов. В 1857 году Бенуа Дюпортейль (Benoît Duportail) воспользовался прессом для специальных производств.

Гасвель (Haswell) около 1860 года начал выполнять различные ковочные работы в венских железнодорожных мастерских, под прессом (рис. 39 и 40), развивавшим максимальное усилие в 750 тонн, при длине хода 600 мм. Этот пресс был первоначально установлен для прессования криц, но результаты оказались неудовлетворительными, тогда как ковка в матрицах производилась с большим успехом.

Несколько таких прессов, мощностью 1 200, 3 000 и более тонн было построено друг за другом.

Напомним, что пресс Гасвеля обслуживался мощной паровой машиной двойного действия, с горизонтальными цилиндрами диаметром 1200 мм, приводившей в действие два насоса одновременно одной скалкой.

Эти простого действия насосы, одновременно всасывающие и нагнетательные, гнали воду в цилиндр пресса, на ныряле которого укреплялся соответствующий штамп (рис. 40).

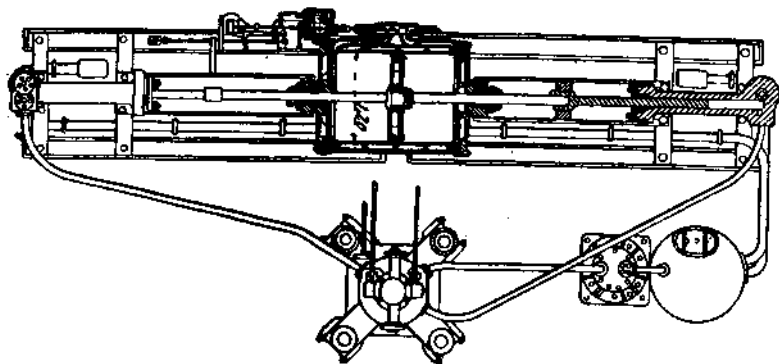


Рис. 39.

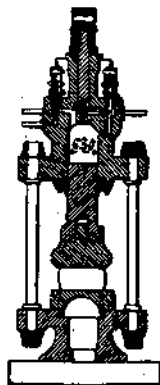


Рис. 40.

Подъем ныряля производился гидравлическим поршнем, находившимся над корпусом главного пресса.

Стул пресса был снабжен наковальней, которую при надобности можно было сменять.

Управление прессом производилось вручную посредством рычагов.

Пресс мог по желанию развивать или прерывистые довольно быстрые давления или, периодами, непрерывное давление.

Пресс Гасвеля фигурировал на выставке в Вене в 1873 году¹⁾ Ипполит Фонтен (Hippolyte Fontaine. Chal. 1848) свидетельствовал о больших преимуществах в отношении законченности изделий и быстроте выполнения работ при ковке в матрицах на подобных прессах.

Прессы Витворта.

Витворт (Whitworth) сконструировал усовершенствованные прессы, получившие широкое практическое применение для обработки отливок, а также фасоннойковки всевозможных изделий.

¹⁾ Чертежи пресса Гасвеля находятся с 1873 года в портфеле Консерватории Искусств и Ремесл. Они сняты с прессов в мастерских правительственных железных дорог Жоржем Парентом (George Parent. Chal. 1866—1869 гг.), тогда секретарем Консерватории.

Он соединил подвижную балку с укрепленным к ней гидравлическим цилиндром с приспособлением для быстрого подъема, спуска и установки ее в определенном положении. Такое устройство обладает тем громадным преимуществом, что при коротком ходе поршня дает возможность обрабатывать изделия различной высоты.

Он также сконструировал механизм для поворачивания поковки, способствующий равномерности прессования, и приспособление для вытягивания оправок, на которых производится прессование полых предметов, как-то: цилиндров, муфт и валов.

Пресс Витворта (рис. 41 и 45)¹⁾ состоит из четырех колонн, укрепленных в фундаментной плите. На верхней части колонн помещается неподвижная чугунная балка *T* с двумя гидравлическими подъемными цилиндрами *C*. На обоих нырялах укреплены балки *X*, каждая с двумя подвесными штангами *Y*, на которых подвешена балка *A*. Последняя движется между основанием пресса и балкой *T* или его головкой. Она поднимается или опускается путем впуска или выпуска воды под ныряла подъемных цилиндров. Вода поступает из аккумулятора.

Для быстрой установки подвижной балки имеются четыре круглых гайки *E*, вращающиеся при подъеме и спуске балки *A*. Эти гайки при развитии давления удерживают балку на месте.

Подвижная балка соединяется с двумя винтами *F*, имеющими резьбу большого шага и проходящими через две гайки *G*, укрепленные в верхней неподвижной балке пресса.

На винтах *F* посажены на шпонках две шестерни *H*, сцепляющиеся с соответствующими шестернями *H'*, укрепленными на четырех гайках *E* колонн.

При движении подвижной балки винты *F*, проходя сквозь неподвижные гайки *G*, начинают вращаться. Вращение через шестерни *H*, *H'* передается четырем гайкам *E* на колоннах, перемещающихся вертикально со скоростью, равной скорости подвижной балки (во избежание трения гайки посажены с большим зазором).

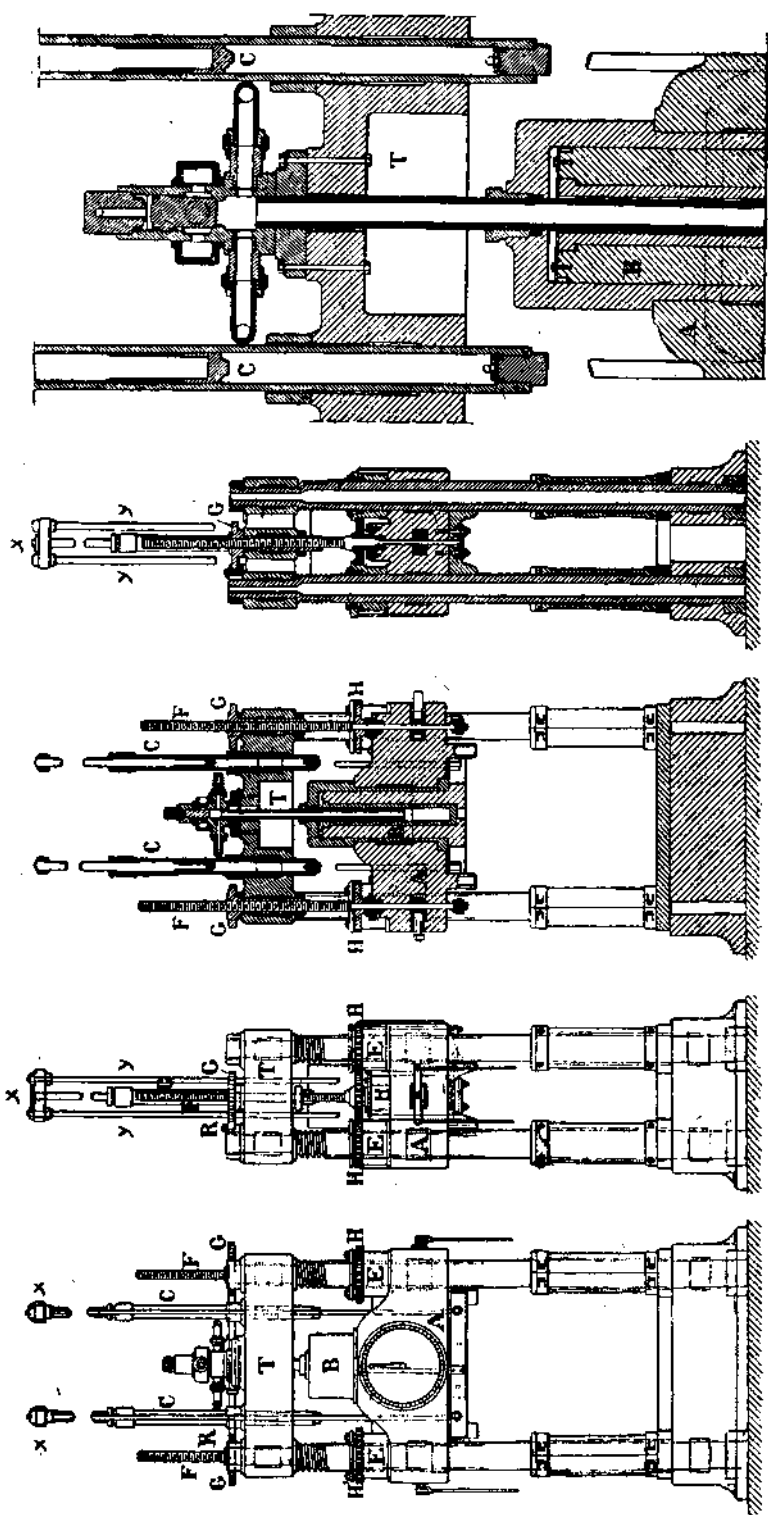
Когда подъемники *C* поднимут подвижную балку на потребную высоту, она упирается в гайки *E*. Для этого гайки *G* винтов *FF* имеют на окружности шестерни, сцепляющиеся с двумя зубчатыми рейками, укрепленными к одной и той же скалке *R*, движущейся горизонтально под действием гидравлического поршня (рис. 45). Таким образом винты *F*, вращаемые гайками *G*, поворачивают шестерни *H* и *H'* и гайки *E* и крепко прижимают их к балке *A*, которая таким образом устанавливается. По желанию для затормаживания винтов *F* устраивается специальное приспособление или тормоз.

В подвижной балке помещается рабочий поршень и ныряло *B*, прижимающее штамп к поковке. Установка длины хода ныряла производится по циферблату. Длина хода может быть как угодно мала. Таким образом достигается быстрота работы как при прессовании начерно, так и при окончательной отделке цилиндрических поволоков.

Для поворота поковки при каждом прессовании устроен вертикальный гидравлический цилиндр *S* (рис. 46 и 47), соединенный с рычагом, на котором имеется палец, поворачивающий поковку, или храповик оправки, на которую надевается последняя.

Для расширения короткого кольца пользуются полый цилиндрической, стальной оправкой *M* (рис. 46 и 47), концы которой лежат на опорах *K*. Кольцо постепенно расширяется оправкой при каждом

¹⁾ Французский патент 4 марта 1875 года.



PHC. 41-45

нажмем пресса и подаче новых частей поковки под штамп, который каждый раз опускается до одной и той же высоты.

Пресс Витворта и его вспомогательные приспособления позволяют подвергать изделие равномерной обработке, что весьма важно.

При больших цилиндрических болванках, применяющихся, например, для выделки крупных артиллерийских орудий, пользуются оправкой и поворотным приспособлением, изображенными на рис. 48—54.

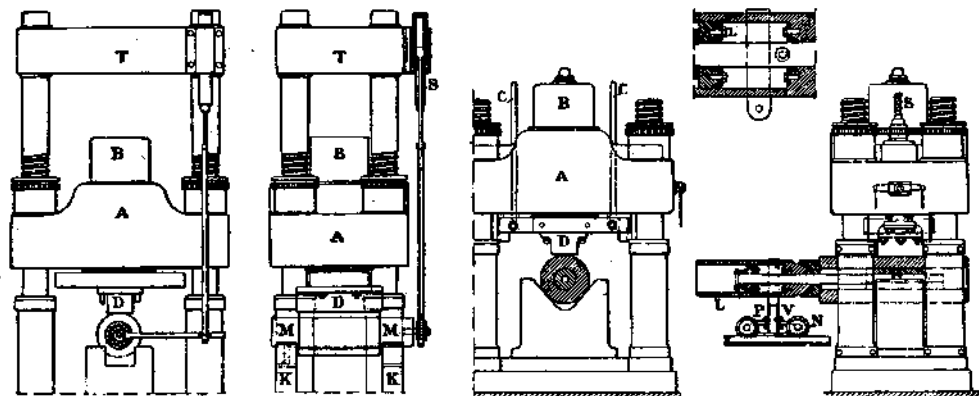


Рис. 46—50.

В этом случае оправка *Н* полая. Для подачи оправки по мере обработки поковки, или для вынимания ее с целью повторного нагрева болванки служит подвижной гидравлический цилиндр *Л*, открытый с одного конца и укрепленный на винте *В* тележки *М*. Посредством зубчатой передачи *Р*, действующей на винт *В*, цилиндр можно поднимать или опускать применительно к различным диаметрам оправок и поковок.

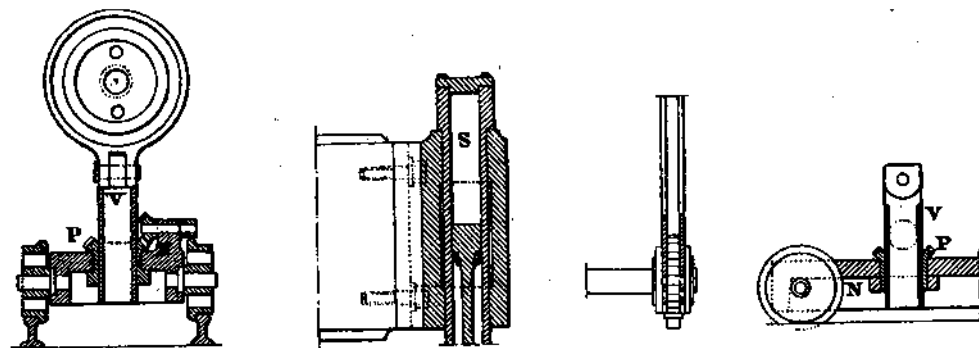


Рис. 51—54.

Вытяжка производится также на оправке, диаметр которой мало отличается от диаметра отверстия поковки, при чем последняя кладется на штамп с вырезом в виде буквы *V*.

Для предупреждения нагревания оправки, последняя просверлена и в продолжение операции через нее протекает вода. Оправка несколько сведена на конус с уклоном от 4 до 6 мм на погонный метр для облегчения вынимания ее вспомогательным прессом.

Прессы Витворта¹⁾ строятся всевозможных размеров и мощностей в 2000, 5000, 10 000 и 14 000 тонн¹⁾. Гидравлическое давление доходит до 500 кг на квадратный сантиметр. Эти прессы применяются при выделке броневых плит, тел артиллерийских орудий, крупных валов или колец большого диаметра.

Пресс Дэви в 4 000 тонн.

Пресс²⁾ (рис. 55 и 56), построенный братьями Дэви в Шеффилде для завода Кеммель и К^о (Cammell and Co), характеризуется устройством двух нырял АА, диаметром в 913 мм и с ходом 2820 мм, помещающихся симметрично относительно оси пресса и упирающихся в подвижную балку В торцами конической формы. Подвижная балка В направляется четырьмя колоннами С и верхней балкой, соединенной с гидравлическими цилиндрами, которые таким образом неподвижны и определяют длину хода нырял.

Устройство двух нырял АА позволяет прессовать поковки, не находящиеся в центральной плоскости пресса, без опасения повреждения частей последнего.

Подвижная балка поднимается гидравлическими поршнями Е, диаметром 230 мм с ходом нырял в 135 мм. Скорость подъема балки равняется 600 мм в секунду и достигается соединением цилиндров через распределительные клапаны с водопроводом низкого давления.

Если, например, требуется поднять поперечную балку с 100 мм до 150 мм выше прессуемой отливки, открывают выпускной клапан цилиндров пресса, вследствие этого вода действует на подъемные поршни и быстро поднимает балку. Для быстрого опускания подвижной балки открывают выпуск воды из подъемного цилиндра, а рабочие цилиндры сообщают с водопроводом низкого давления. Опускание балки продолжается до тех пор, пока штамп не коснется поковки. При работе насосов высокого давления большие клапаны рабочих цилиндров автоматически закрываются, прекращается сообщение с водопроводом низкого давления и открываются клапаны, сообщающие их с водопроводом высокого давления, которое дает усилие, необходимое для прессования. Как только достигается требуемое воздействие, балка со штампом поднимается для следующей операции.

Для управления всеми тремя операциями требуются только два рычага: один для приведения в действие самого пресса, а другой для приведения в действие насосов.

Гидравлическое давление доставляется тремя насосами простого действия, диаметром цилиндров в 150 мм и ходом поршня 300 мм, приводимыми двухцилиндровой паровой машиной с диаметром цилиндров 855 мм. Для опускания вхолостую насосы и рабочие цилиндры пресса питаются водой из бака, в котором она находится под пневматическим давлением.

¹⁾ Самые сильные прессы Витворта, установленные в 1891--1893 гг. на Вифлеемском заводе (Пенсильвания САСШ), развивают усилие в 14 000 тонн при нагрузке 500 кг/см². Насосы их требуют мощности в 16 000 лошадиных сил. Трудность устройства непроницаемых при таких давлениях соединений ведет к понижению давления, примерно, до 300 кг/см². Расстояния между осями колонн, поддерживающих балку, — 4,40 метра. Свободное пространство для работы под подвижной балкой имеет высоту в 5,20 метра. Пресс имеет два гидравлических цилиндра диаметром 1270 мм, независимых друг от друга, установленных на шарнирах, отчего прессование болванок под углом производится без затруднений. Вода доставляется четырьмя насосами с диаметром цилиндров в 280 мм и ходом поршней в 1 430 мм. Диаметр паровых цилиндров 2 290 мм, а ход их поршней 1 000 мм: число оборотов — 80 в минуту.

²⁾ „Engineering“, 23 апреля 1886 г.

от 5 до 8 кг/см². Максимальное гидравлическое давление — 330 килограмм на квадратный сантиметр. Производительность насосов такова, что при каждом обороте насоса подвижная балка при прессовании опускается на 12 мм. Поверхности подъемных и рабочих поршней относятся

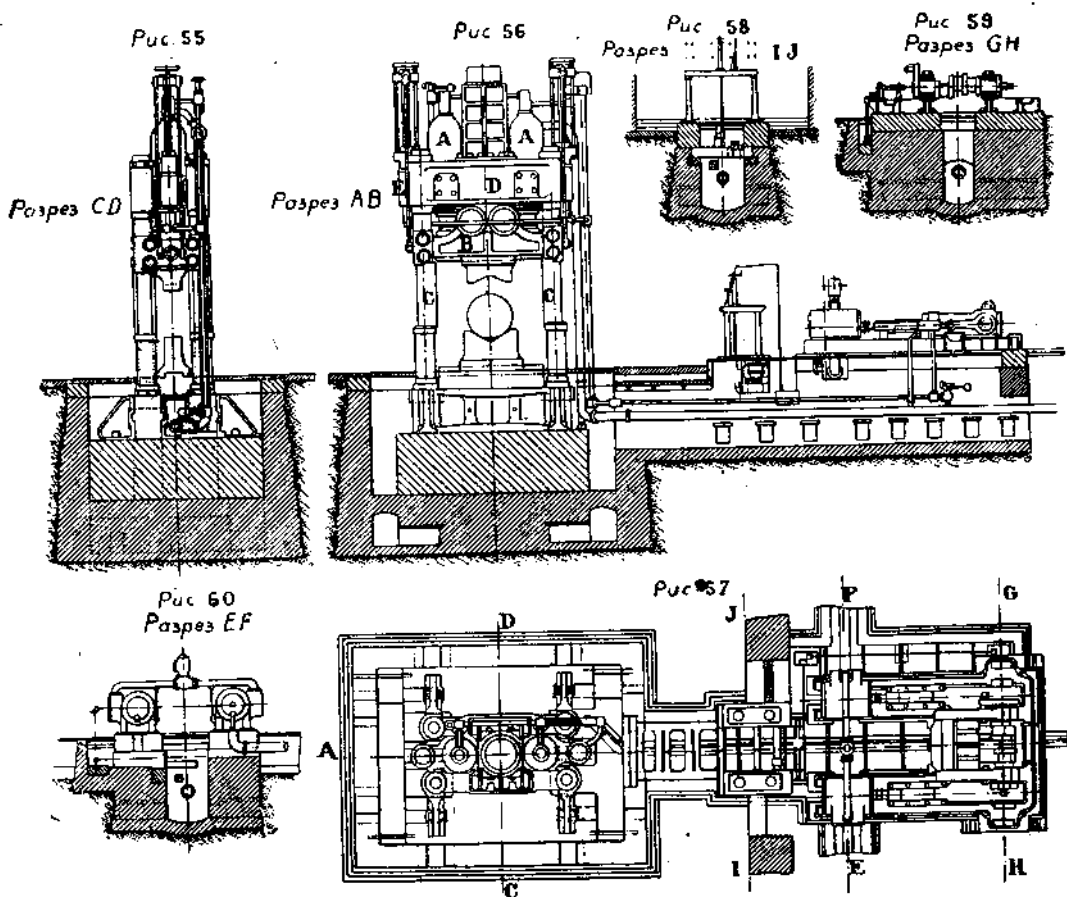


Рис. 55—60.

друг к другу как 1 : 16. Насос может работать со скоростью до 60 оборотов в минуту, производя быстрые подъемы и спуски подвижной балки.

Пресс Дэви со своим двигателем и насосами представляет очень сложную конструкцию и требует для хорошей работы тщательного ухода за его распределительными механизмами.

Пресс Делаттр и К^о.

Пресс завода Делаттр и К^о имеет сравнительно простую конструкцию (рис. 61—67)¹⁾.

¹⁾ Genie Civil. 28 октября 1893 г. — завод Делаттр и К^о в Ферриер ля-Гранд строит несколько моделей этого пресса, мощностью до 6 000 тонн.

Подвижная балка *А* соединена с поршнем пресса, цилиндр которого укреплен в верхней неподвижной балке *В*. Передвижение балки *А* для установки ее относительно поковки производится двумя паровыми поршнями *С* простого действия, связанными с балкой *А* своими скалками. Эти поршни *С* движутся в цилиндрах, камеры которых сообщаются с паровым котлом для подъема балки или с атмосферой для опускания ее возможно ближе к поковке.

При этих установочных операциях балки, цилиндр пресса и цилиндр компрессора *Д* сообщаются с водяным резервуаром, которым пользуются для опускания, и в этот же бак выпускают избыток воды при подъеме балки.

Как только балка и штамп установлены, клапан, сообщающий цилиндр с резервуаром, закрывают и развивают давление впуском пара под поршень *Е*, скалка которого нагнетает воду компрессора *О* через трубу *Г* в рабочий цилиндр пресса.

Регулируя впуск пара в цилиндр *Г*, изменяют по желанию длину хода пресса, т.е. его опускание от нескольких миллиметров, примерно, до 120 мм, в зависимости от условий работы. При выпуске пар попадает сперва под поршень, быстро устанавливая равновесие, и поршень *Е* опускается под действием собственного веса. Кроме того, непрерывно или с перерывами поступающий под подъемные поршни пар производит быстрое поднятие подвижной балки. Управление распределительным механизмом, на котором мы не можем останавливаться, очень просто и производится ручным рычагом. Максимальное давление, которого, как правило, нельзя переходить, регулируется давлением пара, поступающего в цилиндр *Г*.

Прессы этого типа очень гибки в работе вследствие упругости приводящего их в действие пара, что допускает движение балки со скоростью от 100 до 200 мм без опасения за таранные удары, разрушающие механизмы и трубопроводы. Коэффициент полезного действия пресса очень высок, вследствие точности установки длины хода подвижной балки. Пресс в 700 тонн может при вытяжке болванок делать от шестнадцати до двадцати ходов в минуту. При выглаживании он может давать до тридцати коротких ходов, легко задерживаемых в низшей точке остановочными подкладками, устанавливаемыми на наковальне. Такие подкладки применяются в тех случаях, когда требуется придать поковке равномерную толщину.

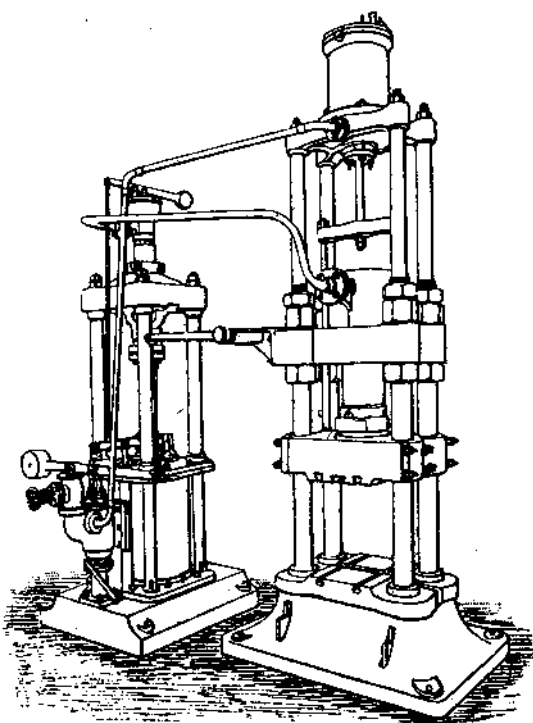


Рис. 61.

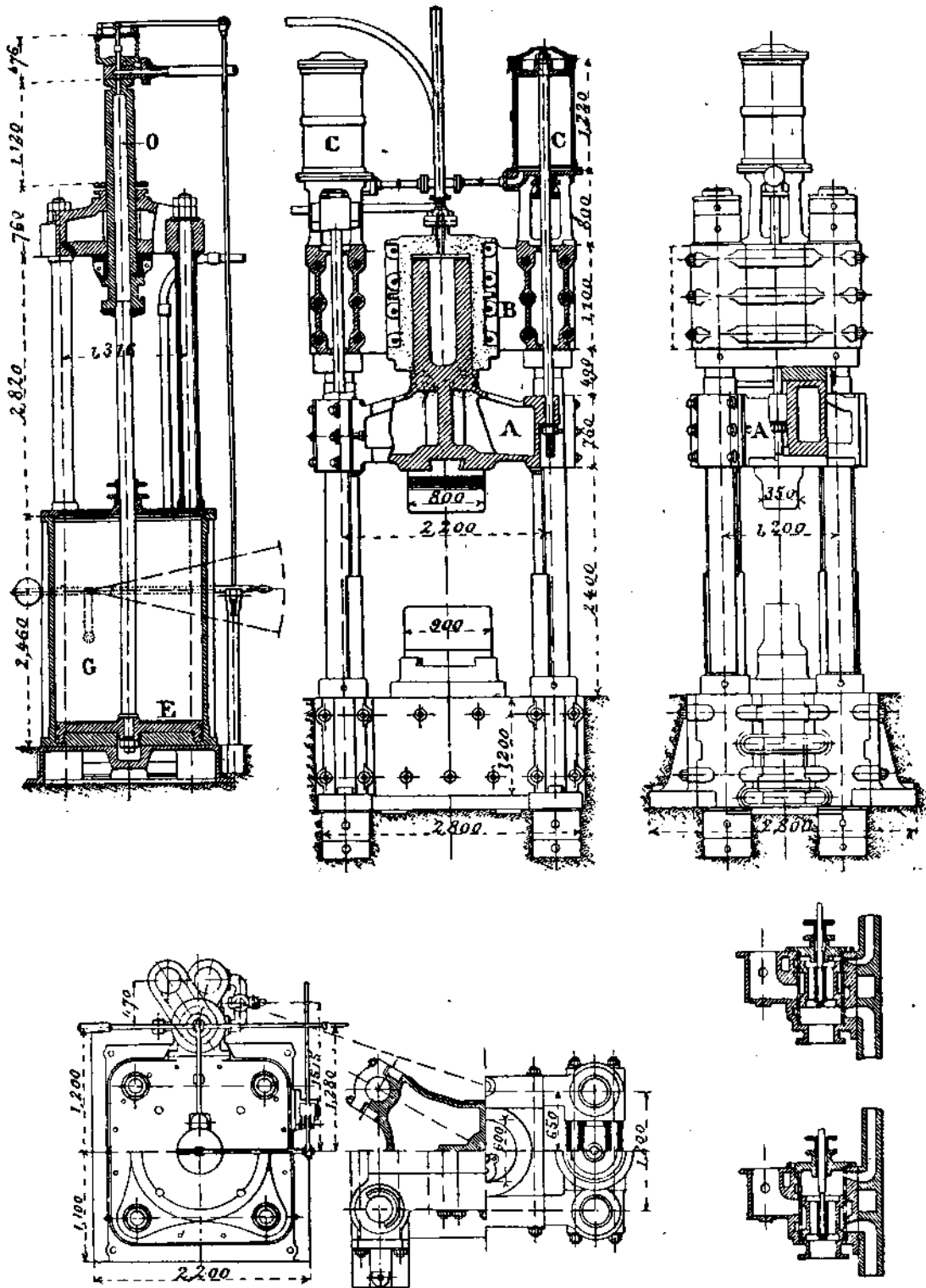


Рис. 62—67.

Техническая характеристика 1200-тонного пресса:

Диаметр парового цилиндра	150 мм
Максимальный ход поршня	200 мм
Максимальное полное давление на поршень	100 000 кг
Работа за один ход поршня	200 000 кг. м
Сечение ныряла	200 см ²
Давление	500 кг./см ²
Диаметр рабочего поршня пресса	600 мм
Поверхность давления	2 880 см ²
Полное давление	1 440 000 кг
Поверхность штампа 350 × 350 мм	112 500 мм ²
Давление на единицу при усилии 1 200 000 кг или р	9,8 кг/мм ²

Проекция давления на диаметр парового цилиндра при $e = 4$ см и $p = 6$ кг/мм² составляет:

$$R = \frac{pd}{2 \times e} = \frac{6 \times 150}{2 \times 4} = 110 \text{ кг/см}^2.$$

Проекция давления на длину гидравлического цилиндра пресса при $e = 15$ см $p = 500$ кг равняется:

$$R = p \left(\frac{\left(\frac{2e}{d} + 1 \right)^3 + 1}{\left(\frac{2e}{d} + 1 \right)^3 - 1} \right) = 500 \left(\frac{\left(\frac{2 \times 15}{60} + 1 \right)^3 + 1}{\left(\frac{2 \times 15}{60} + 1 \right)^3 - 1} \right) = 1 300 \text{ кг/см}^2.$$

Прессы завода Общества Горм и Бюир.

Прессы завода Norme et Vuire строятся трех главных типов:

- 1) с установленным на них непосредственно мультипликатором,
- 2) с независимым мультипликатором,
- 3) специальные прессы для крупных броневых плит.

Рисунки 68—69 относятся к прессам первого типа.

Изображенная на рисунках конструкция применяется всегда, когда это только возможно, т.-е. насколько то позволяет высота, не вызывая необходимости в постройке очень высоких помещений и не затрудняя движения мостовых кранов над прессом. Прессы эти особенно практичны при умеренных мощностях, например, до 2500 тонн.

Наковальня установлена на стул посредством вспомогательной плиты, которую можно вынимать из пресса в случае перемены наковальни

Стул чугунный, или из литой стали, совершенно утоплен в землю и укреплен к фундаменту прочными болтами. Большие поверхности и сильные лапы обеспечивают плотную посадку и уменьшают нагрузку на грунт от веса пресса.

Стул связан с верхней неподвижной балкой четырьмя прочными колоннами из кованой стали, служащими не только для уравновешивания усилий пресса между балками, но также для направления подвижной балки H , несущей верхний штамп.

В прессах малой мощности (до 300 тонн) для облегчения ковочных работ выгодно заменяют четыре колонны станиной в виде буквы C из литой стали, чрезвычайно облегчающей работу и свободный доступ к поковке.

Подвижная балка прочно соединена с нырялом D рабочего гидравлического цилиндра P , установленного в углублении неподвижной балки или отлитого вместе с ней.

В цилиндре *P* перемещается также скалка *C* парового поршня, цилиндр *A* которого вынесен на верхнюю балку.

Для уменьшения высоты пресса главное ныряло *D* сделано полым с достаточными зазорами, чтобы в него могла проходить скалка *C* ныряла цилиндра *P*.

Паровой поршень простого действия. Цилиндр *A* открыт в своей нижней части. Этот цилиндр соединяется с балкой посредством прочной муфты *B*, устроенной для облегчения осмотров и содержания в порядке прилегающих частей.

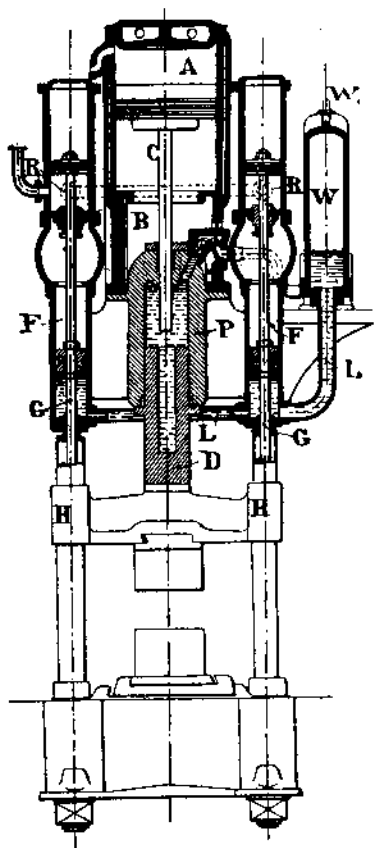


Рис. 68.

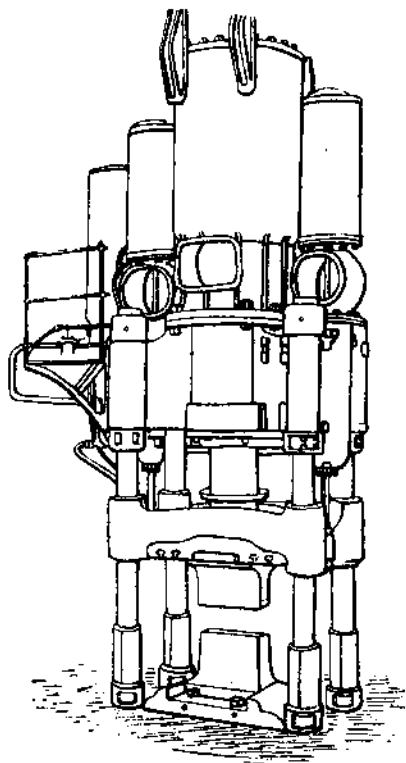


Рис. 69.

Подвижная балка *H* уравновешена раз-навсегда таким образом, чтобы паровой поршень всегда приходил в верхнее положение, так что перед ударом пресса в балку, *H* всегда находится в наиболее благоприятном положении и автоматически возвращается в свое исходное положение после рабочего хода.

В прессах средней мощности описываемого типа подъемные цилиндры делаются паровыми. Таким образом избегается устройство гидравлической системы среднего давления, которая становится необходимой в мощных прессах вследствие значительности потребных усилий.

Подъемные цилиндры приводятся в действие распределителями (дистрибуторами). Действие их комбинировано с действием уравни-

тельных цилиндров с постоянным давлением, потому на них не затрачивается никакой энергии.

Подъемные цилиндры обозначены буквой *R*. Они простого действия, и пар поступает под нижние поверхности их поршней.

Уравнители *F* устроены под подъемными цилиндрами, и поршни их соединены с теми же скалками. Они постоянно сообщаются с резервуаром *W*, заряженным раз-навсегда воздухом при давлении около 25 кг/см². Кроме того, резервуар *W* сообщается с гидравлическим цилиндром пресса через специальный запорный клапан, открываемый небольшим паровым цилиндром.

Таким образом в гидравлическом цилиндре пресса поддерживается давление, по крайней мере равное давлению в резервуаре *W*. Это давление поддерживает паровой поршень в верхней точке его хода, пока пар не будет впущен на его верхнюю поверхность.

Это же давление действует сверху вниз на ныряло *D* и снизу вверх на уравнительные поршни, общее сечение которых приблизительно одинаково с сечением гидравлического цилиндра пресса. Уравнители предназначаются для компенсации веса подвижной балки при холостой работе пресса.

Когда в подъемники поступает пар, они стремятся поднять подвижную балку. Если, кроме того, запорный клапан закрыт, то вода не может уходить из гидравлического цилиндра пресса и балка остается в состоянии покоя. Наоборот, если клапан поднят своим серво-мотором, балка поднимается и вода из гидравлического цилиндра пресса уходит в резервуар *W* и в уравнители.

Когда в подъемных цилиндрах происходит выпуск, подвижная балка опускается под действием своего веса, так как вода циркулирует в обратном направлении через клапан, который открывается автоматически.

Парораспределительный механизм в подъемниках вызывает таким образом подъем, опускание или остановку подвижной балки, при чем гидравлический цилиндр пресса все время находится под давлением, а паровой поршень *C*—в верхней точке своего хода.

Наличность уравнителей позволила сократить до минимума объем подъемников, а следовательно, и расход пара.

Для ударов пресса, в полном смысле этого слова, при находящихся под давлением подъемниках впускают пар поверх главного поршня. Клапан изолирует гидравлический цилиндр пресса, в котором вследствие этого устанавливается высокое давление, необходимое дляковки. При опускании подвижной балки пар из уравнителей уходит в трубопроводы, а вода из них— в резервуар *W*, где давление несколько повышается.

Как только в цилиндре начинается выпуск, главный поршень и подвижная балка возвращаются в свои исходные положения, и пресс готов для нового хода.

Неполные хода поперечной балки, соответствующие неполному ходу поршня мультипликатора, обычно колеблются между 100 и 200 мм, в зависимости от мощностей прессов и их специального назначения. Конечно, его можно уменьшать по желанию в зависимости от производимой работы, прекращая впуск пара в цилиндр *A*. Кроме того, машинист всегда может регулировать давление впускным паровым вентилем, уменьшающим сечение паропровода, отчего пар действует расширением или падением давления. Манометр, установленный на входе у машиниста, показывает в каждый данный момент усилие, развиваемое прессом.

Можно указать, что в прессе этого типа гидравлическое давление и передача его рабочему нырялу происходят в одной и той же оболочке без трубопроводов и распределительного механизма. Таким образом уменьшаются до минимума возможности утечек или аварий частей высокого давления. В прессе всегда употребляется та же самая вода, так что к ней можно добавлять смазочные материалы или жидкости, предупреждающие замерзание.

Все органы, возбуждающие и передающие давления, соединены между собой гидравлической передачей, которая гораздо лучше механической. Вследствие этого поршень мультипликатора не может в каждый данный момент отделиться от столба воды, вызывающего его движение, так как последняя всегда находится под давлением. Таким образом избегаются всякие удары и аварии, как бы быстро ни работал пресс. Поэтому пресс способен давать большое количество ходов в минуту. Мощные прессы дают в минуту от 10 до 12 ходов, а более слабые — до 60 ходов или, точнее, ударов.

Главный распределитель пара имеет два уравновешенных клапана: один для впуска, а другой для выпуска. Ими можно управлять на расстоянии вручную, посредством специальных рычагов с кулаками.

Эти рычаги, позволяющие легко преодолевать большие усилия, поднимают клапаны сперва медленно, а затем с возрастающим ускорением. Приспособление это устраняет толчки, происходящие вследствие слишком быстрого открытия пара при быстрой работе парового поршня.

Распределитель подъемников представляет собой цилиндрический золотник, приводимый в движение специальным рычагом или главным рычагом в конце своего хода.

Останов в нижнем конце хода поршня мультипликатора вызывает выпуск пара со стороны его верхней поверхности. Паровые подушки между поршнем и крышками цилиндров предупреждают вредные удары между этими частями.

Добавим к сказанному, что мультипликаторные и подъемные цилиндры окружены паровой рубашкой, пар в которую поступает по специальному трубопроводу.

Прессы с отдельным мультипликатором. — По причинам, приводимым выше, конструкция с независимым мультипликатором обычно применяется для прессов большой мощности. Подъемники этих прессов делаются гидравлическими и требуют установки вспомогательных механизмов (насосов и аккумулятора), давления которых в зависимости от обстоятельств колеблются между 50 и 200 кг/см². Эти вспомогательные механизмы служат не только для холостой работы прессы, но также и для питания вспомогательных приспособлений (мостовых кранов, ковочных столов и т. д.) и для приведения в действие серво-моторов главных распределителей.

Прессы делаются с одним нырялом (как показано на рис. 70) или с тремя, с независимым питанием боковых и главного гидравлических цилиндров. Таким образом пресс может развивать три различных мощности при длине ходов, обратно пропорциональных этим мощностям.

Такое устройство очень выгодно тем, что уменьшает расход пара при некоторых специальных работах, требующих длинных ходов при небольшой мощности.

Общее расположение уравнительных и подъемных цилиндров может быть одинаково с их расположением на прессах с непосредственной установкой мультипликаторов. Паровые распределители,

гидравлический распределитель подъемников и распределитель, регулирующий питание гидравлического рабочего цилиндра пресса, приводятся в действие гидравлическими же серво-моторами, вследствие значительности преодолеваемых усилий. Механизм приводит в действие только вспомогательные распределители очень небольших размеров, требующие от него лишь незначительных усилий.

Управление прессом производится одним единственным рычагом, дающим на протяжении первой части своего хода его холостые движения посредством распределителей подъемников. На протяжении остальной части своего хода этот же рычаг дает рабочее давление, воздействуя на парораспределитель мультипликатора. Специальное приспособление позволяет работать с неполными ходами. Под этим мы понимаем, что поперечная балка вместо того, чтобы после каждого хода пресса возвращаться в свое исходное положение (как то имеет место при нормальной ковке последовательными пропусками), остается в своем нижнем положении в контакте с проковкой, пока поршень мультипликатора не поднимается в свое положение для нового неполного хода.

Прессы большой мощности обычно снабжаются вспомогательными приспособлениями для перемены наковален, для ковки на столах или на оправке. В этом случае отпадает надобность в мостовых кранах в качестве вспомогательных механизмов пресса, и численность прислуги пресса при самых серьезных работах снижается до четырех или пяти человек, включая руководителя.

Прессы с мультипликаторами могут также приводиться в действие вместо пара сжатым воздухом. Общество Горм и Бюир осуществило очень интересное применение сжатого воздуха на электроплавильном заводе Поль Жиро в Южине (Paul Girod à Ugine). На этом сталелитейном заводе вовсе не имеется паровых котлов. Гидравлическая движущая сила распределяется электрическим током или сжатым воздухом, даваемым компрессорами, работающими от электромоторов. Пресс в 800 тонн, приводимый сжатым воздухом из главного воздухопровода, весьма удовлетворительно работает на этом заводе с 1909 года.

В 1913 году сталелитейный завод в Фермини пополнил свое и без того мощное оборудование установкой пресса в 6 000 тонн, способного обрабатывать болванки весом в 150 тонн и самые громоздкие изделия, как, например, турбинные цилиндры диаметром в 3,50 метра и длиной в 4,50 метра.

Этот пресс с отдельным паровым мультипликатором. Отношение сечений поршней пресса таково, что при нормальном давлении пара, например, в 10 кг/см^2 , давление воды может достигнуть 600 кг/см^2

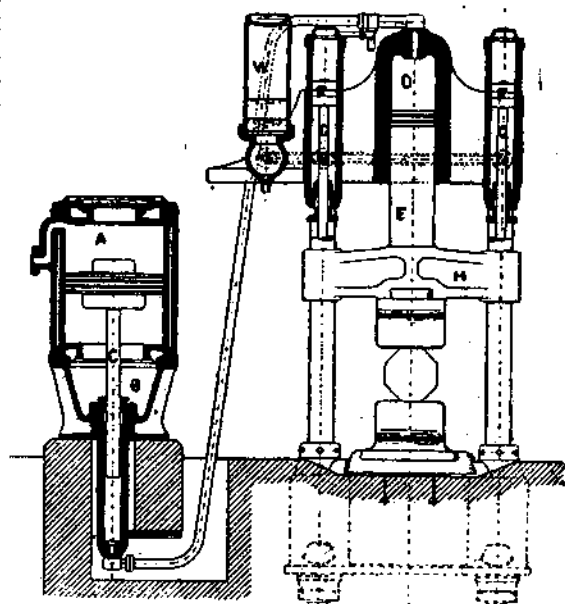


Рис. 70.

в гидравлическом цилиндре и, следовательно, в гидравлических цилиндрах пресса.

Трубопровод устроен таким образом, что может приводить в действие один, два или три гидравлических цилиндра пресса, развивая усилия в 2 000, 4 000 или 6 000 тонн в зависимости от выполняемой работы.

Технические характеристики пресса на заводе Фирмини следующие:

Нормальная мощность	6 000 тонн
Нормальная длина хода	2 600 мм

Неполные ходы при мощностях:

6 000 тонн	190 мм
4 000 "	285 "
2 000 "	570 "

Расстояния между осями колонн:

Спереди	4,600 м
Сбоку	2,600 "
Полная высота над полом	9,800 "

Наибольшие допустимые размеры поковок:

Диаметр	3,500 м
Длина	4,500 "
Диаметр поршня паровой машины (из литой стали)	2 300 мм
Максимальное давление пара	12 кг/см ²
Максимальное усилие парового поршня	498 000 кг
Полная длина хода парового поршня	2 700 мм
Работа, развиваемая за один ход поршня	1 345 000 кг. м
Средняя продолжительность хода	2 сек.
Средняя скорость поршня	1,350 м
Развиваемая мощность	8 950 лощ. сил
Диаметр ныряла	316 мм
Давление воды	636 кг/см ²
Внутренний диаметр малого гидравлического цилиндра пресса (из ковальной стали)	330 мм
Толщина стенок	160 "
Проекция давления на диаметр цилиндра	10 860 кг
Диаметр нырял (трех одинаковых)	685 мм
Максимальное усилие на всех трех нырялах	7 050 000 кг
Диаметр трубчатых колонн	585 мм
Полное сечение колонн	90 000 мм ²
Давление на единицу при максимальной нагрузке	7,8 кг/мм ²
Толщина стенок цилиндра мультипликатора (чугун)	65 мм
Проекция давления на диаметр цилиндра (кованая сталь)	2,42 кг/мм ²
Толщина стенок гидравлических цилиндров пресса	327 мм
Проекция давления на диаметр	17 кг/мм ²

Сомнительно, чтобы существовал паровой поршень с элементами мощности выше указанных величин. Этот пресс поставил в настоящее время рекорд энергии, развиваемой на каждый ход. Применение ковочных прессов особенно распространено в Англии и вызвало постройку прессов средней мощности с горизонтальными или вертикальными нырялами; прессы эти очень хороши для обработки специальных поковок, размеры которых требуют переменных усилий от 30 до 100 тонн. На рисунках 71 и 72 изображены прессы этого рода, построенные заводом Генри Берри и К^о в Лидсе (Henri Barry and Co Leeds).

Дальше мы встретимся с многочисленными типами прессов специальных назначений, приводимых в действие водой, паром или сжатым воздухом.

Прессы особенно рекомендуются дляковки крупных стальных болванок, потому что работа на них не вызывает вибрации.

Так как большая масса металла сохраняет свою высокую температуру довольно долгое время, то оказывается возможным обрабатывать ее при сравнительно небольших усилиях, не требующих таких прессов, которые в настоящее время считают невыполнимыми. Считают, что минимальная толщина металла, обрабатываемого под прессом, не должна быть меньше 150 мм.

Так как мощность прессы строго ограничена, то поэтому он не может дать перегрузки. Необходимо пользоваться прессами, позволяющими действовать на значительные поверхности поковки, так как в противном случае работа потребует много времени вследствие необходимости повторных нагревов металла.

Надо помнить, что пресс, представляя довольно сложную конструкцию, требует хорошего ухода.

Главное достоинство прессы это: 1) плавность его усилия, передаваемого всей массе металла, и 2) высокий коэффициент полезного действия сравнительно с таким же коэффициентом молота.

Поэтому прессы большой мощности все чаще устанавливаются на крупных

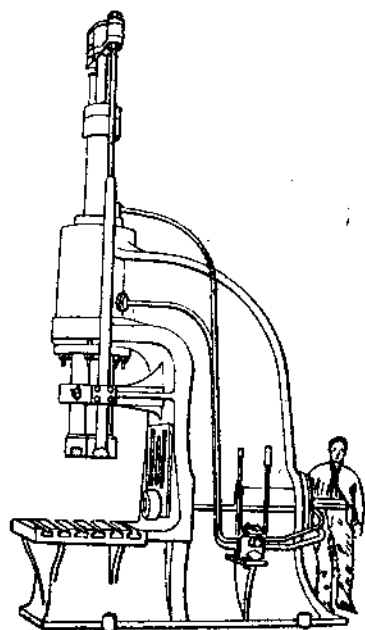


Рис. 71.

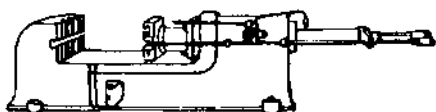


Рис. 72.

заводах. Они успешно заменяют молоты при производстве большинства ковочных работ. Они работают гораздо быстрее, надежнее и равномернее молотов. Кроме того, металл не подвергается грубым ударам и лучше доводится до точных размеров, нежели под молотом.

Более чем 30-летний опыт работы с мощными прессами показал прекрасную производительность этих сложных орудий.

После того как был разобран 125-тонный молот на Вифлеемском заводе в 1893 году, уже не ставят вновь молотов мощностью даже в 100 тонн, отдавая предпочтение прессам мощностью от 5 000 до 10 000 и более тонн.

Прессы мощностью свыше 1 000 тонн начали быстро распространяться, в особенности после того как удалось увеличить количество ходов (ударов) в минуту и оценили их достоинства, в особенности большую скоростьковки, большую точность, а также уменьшение себестоимости работ, легче выполняемых под прессом, нежели под молотом и при том при меньшем количестве нагревов.

ГЛАВА II.

Процессы действия живой силой (ковка под молотом).

Удар или процесс ковки под молотом характеризуется чрезвычайно быстрым возрастанием давления.

При непосредственной ковке под молотами поковка помещается на неподвижной массивной подставке — наковальне или шаботе. Орудие-баба движется прямолинейно с большей или меньшей скоростью. Масса бабы позволяет накапливать в ней механическую энергию и действовать на поковку живой силой.

Действие удара, несмотря на всю его быстроту, аналогично действию медленного давления, с тем лишь исключением, что быстрота усилия вызывает силы инерции, которыми нельзя пренебрегать с точки зрения полезного действия молота и устройства его частей, воспринимających удар. Давление, начинаясь от нуля в момент соприкосновения, быстро, в течение нескольких десятых или сотых долей секунды, достигает своего максимального значения. Энергия движущейся массы во время удара вызывает деформацию поковки, превращается отчасти в тепло, в живую силу инструмента, в живую силу, поглощаемую опорной массой, сообщает деформацию этой массе и самому инструменту и частично превращается в звуковые колебания.

Таким образом удар — явление очень сложное, и с трудом поддается точному теоретическому анализу.

Развиваемое ударом давление вызывает равную ему реакцию опоры или наковальни, вследствие чего поковка подвергается действию двух давлений возрастающей силы, распространяющихся на массу металла более или менее равномерно.

Давления сжимают металл в одних частях, а именно в частях, соприкасающихся с инструментом, они деформируют его, стремясь вызвать внутренние или наружные трещины, в зависимости от того, действует ли давление в поперечном или продольном направлении, а также от большей или меньшей силы повторных ударов.

Хотя кузнецы обычно соблюдают правила рациональной ковки в целях лучшего выполнения работы, тем не менее они не всегда соблюдают законы наилучшего использования затрачиваемой энергии.

Практик стремится получить хорошо выделанные поковки. Если для достижения цели приходится поступиться коэффициентом полезного действия, он не останавливается перед этим, тем более, что во многих случаях экономичность операции может ухудшить металл и увеличить брак, поглощающий достигаемые выгоды. Основное правило ковки, с механической точки зрения, заключается в производстве последовательных деформаций повторными ударами. (Лишь с точки зрения коэффициента полезного действия, а также в отдельных случаях, теория и опыты показывают, что надо действовать, если то возможно, одним ударом). Поэтому именно стальную болванку в первый раз, когда она попадает под молот, надо ковать только умеренными

ударами. При последующих операциях деформации могут быть более значительными.

Треска (H. Tresca) определил количество тепла, развиваемого ударом молота, воспользовавшись покрытыми воском испытательными цилиндрами.

Он пришел к следующим выводам:

1) количество развивающегося при ковке тепла зависит от формы рабочей поверхности бойка и от силы ударов;

2) при острогранном бойке развитие тепла происходит особенно сильно вблизи граней и в центре подвергающегося ковке образца;

3) в указанных выше точках происходят наибольшие сдвиги материала, это чисто механическое явление вызывает явления термические;

4) при достаточно энергичных ударах и при достаточных размерах образца в тепло превращается около $\frac{8}{10}$ затраченной работы;

5) фигуры, образованные расплавленным воском при ударах малой силы, дают нечто в роде диаграммы способа распределения тепла и деформации внутри полосы;

6) при условиях слабого удара расчет коэффициента полезного действия дает совершенно недостаточные результаты.

Опыты, производившиеся с плоскими и закругленными бойками, привели к одинаковым выводам, но характер распределения тепла при них оказался иным.

Эти опыты особенно подчеркивают значение преобразования живой силы в тепло. Холодную стальную поковку можно довести сильной проковкой до красного каления. При горячей ковке развиваемое ударами тепло поддерживает температуру металла, что является преимуществом этого способа перед медленным действием пресса. Сохранение высокой температуры при быстрых ударах очень ценно дляковки различных мелких изделий.

Для краткого исследования эффектовковки ударами, рассмотрим сначала массу металла при высокой температуре, кристаллоиды которой слабо сцеплены между собой, как, например, в вышедшей из пудлинговой печи железной крице.

Удары по такой массе деревянной колотушкой¹⁾ оказываются гораздо действительнее ударов стального молота.

Удар не должен быть сильным. Частицы металла сжимаются и шлаки выжимаются под действием колотушки, живая сила которой используется без значительной потери для уплотнения и сжатия массы, так как не требуется значительных изменений формы металла. Наоборот, тяжелый молот при таком состоянии массы вызвал бы большие потери металла. Работа получилась бы неудовлетворительной, хотя теоретический коэффициент полезного действия удара был бы тем не менее очень высок.

Однако, по мере охлаждения крицы (1400°), колотушка становится недостаточной, и хотя удары продолжают оказывать свое действие, оно становится местным. Приходится прибегать к более сильному удару, и наиболее сильным орудием становится стальной молот, выгоняющий шлаки и окалину повторными ударами умеренной силы, в зависимости от температуры и объема крицы. Крицу при этом поворачивают для придания ей призматической формы. Коэффициент полезного действия продолжает оставаться высоким, вследствие хорошей ковкости металла.

¹⁾ Заседания французской Академии Наук 25 июня и 23 июля 1883 г.

При понижении температуры до 1000° сила ударов должна увеличиваться так же, как и их частота. Металл, обладая некоторой упругостью, передает наковальне и ее фундаменту некоторую живую силу, которая также превращается в тепло. Коэффициент полезного действия понижается. При 800° эти явления усиливаются. При 500° деформация становится еще меньше, потери энергии возрастают, в особенности в виде тепла, которое теряется только отчасти, так как часть его поддерживает температуру металла и тем способствует операции.

При еще более низких температурах, коэффициент полезного действия понижается все больше и больше и кузнецу приходится прекращать работу, чтобы не повредить инструмента и поковки.

Он возобновляет работу, только после подогрева металла до высокой температуры, при которой только и возможно достигнуть полезного эффекта.

На этом примере можно видеть, каким образом следует вести ковку при различных состояниях металла.

Всегда надо пользоваться инструментом, наиболее удовлетворяющим условиям работы. Кузнецы не ошибаются, действуя сперва умеренными, быстрыми ударами, не слишком деформирующими массу и обжимающими ее по всей поверхности. Затем они наносят все более и более сильные и частые удары в зависимости от однородности металла и степени его охлаждения.

Таким образом, необходимо соразмерять удары с требующимися деформациями и не применять ни слишком тяжелых, ни слишком легких молотов.

В особенности надо работать быстро повторными ударами, когда металл при высокой температуре обладает наибольшей текучестью.

Можно сказать наперед, что чем поковки мягче и толще, тем больше получаются деформации и тем выше полезное действие удара. Наоборот, если металл поковки обладает большой упругостью, сопротивлением и не ломается под ударом, то деформации ничтожны. В этом случае большая часть энергии затрачивается на вибрации, переходит в тепло, а частью расходуется на подбрасывание вверх самого молота.

Закон подобия при ковке ударами.

Если все элементы энергии, потребной дляковки под молотом какого-либо предмета, известны, то дляковки другого предмета в m раз больших размеров потребуется работа больше в m^3 раз. Так, например, если размеры двух призматических поковок относятся друг к другу, как:

$$\frac{a}{a'} = \frac{b}{b'} = \frac{c}{c'} = \frac{1}{m},$$

то между объемами V и V' и весами P и P' будет существовать следующая зависимость:

$$\frac{V}{V'} = \frac{P}{P'} = \frac{abc}{a'b'c'} = \frac{1}{m^3}.$$

Если обозначить через W и W' работы, необходимые для изменения формы в том же отношении, то можно написать:

$$\frac{W}{W'} = \frac{V}{V'} = \frac{P}{P'} = \frac{1}{m^3}.$$

т.е. механическая работа, потребная для одинаковых деформаций с одинаковой скоростью двух однородных тел подобной формы, пропорциональна их объемам или весам¹⁾.

Закон подобия позволяет, пользуясь результатами опытов над небольшими поковками, подсчитывать операции над большими поковками и исследовать происходящие при этом явления.

Закон позволяет рассчитывать некоторые элементы операцийковки. Например, если изделие весом 10 кг куется ударами, развивающими $200 \text{ кг.м} = \frac{Mv^2}{2}$, то изделие весом в 100 кг для получения подобного результата потребовало бы ударов в $2000 \text{ кг} = \frac{M'v^2}{2}$.

Таким образом получается отношение $\frac{200}{2000} = \frac{M}{M'}$, откуда $M' = 10M$.

Если возьмем опытный цилиндр высотой $h = 20 \text{ мм}$ и диаметром $d = 200 \text{ мм}$ и сожмем его на 2 мм, т.е. на $\frac{1}{10}h$, бабой в 10 кг, падающей с высоты в 4 метра, то затрата энергии будет $W = 10 \times 4 = 40 \text{ кг.м}$.

Если возьмем другой цилиндр диаметром $d' = 1000 \text{ мм}$ и высотой $h' = 1000 \text{ мм}$, то потребную для сжатия его на 100 мм, т.е. на $\frac{1}{10}h'$, энергию можно рассчитать по пропорции

$$\frac{W'}{W} = \frac{v'}{v} = \frac{\pi d'^2 h'}{\pi d^2 h} = \frac{d'^2 h'}{d^2 h},$$

откуда

$$W' = \frac{W \times d'^2 h'}{d^2 h} = \frac{10 \times 4 \times 1000 \times 1000 \times 100}{20 \times 20 \times 2} = 5\,000\,000 \text{ кг.м.}$$

Так как цилиндр сжимается на 100 мм, то среднее усилие будет:

$$\frac{W'}{0,100} = 50\,000\,000 \text{ кг.м.}$$

При той же высоте падения в 4 метра потребуется баба весом $P' = \frac{5\,000\,000}{4} = 1\,250\,000 \text{ кг}$, т.е. в десять раз больше веса бабы самого сильного из существующих молотов — Вифлеемского молота.

Таким образом, пришлось бы прибегать к бабам громадного размера и веса, неприменимым на практике. Поэтому предпочитают увеличивать в некоторой мере скорость, т.е. высоту падения бабы, но в меньшей пропорции, нежели ее вес.

Таким образом, в молотах простого действия пользуются бабами следующих весов и следующими высотами падения:

вес бабы	кг	1 000	5 000	15 000	50 000	100 000	125 000
высота падения	м	1	2	3	4	5	6

т.е. высотой падения в пределах между 1 и $1,2 \sqrt[3]{P}$ ²⁾, где P принимается в тоннах.

Дальше мы увидим, что подобные умеренные скорости удара являются наиболее пригодными с различных точек зрения.

Влияние массы и скорости бабы.

Масса и скорость бабы оказывают на работу преобладающее влияние. Масса бабы должна соответствовать размерам поковки.

¹⁾ Этот закон установил Tresca — „Annales du Conservatoire des Arts et Metiers“. VI. 1865.

²⁾ Часто рекомендуют применять значение $0,026 \sqrt[3]{P}$.

Небольшая баба, падающая с небольшой скоростью на крупную, ковкую, мягкую и обладающую малым сопротивлением поковку, оставляет на ней только легкое углубление. При большой скорости падения баба проникает в массу подобно снаряду, производя чисто местную деформацию.

Большая баба, действуя на небольшую поковку, сжимает ее подобно прессу. Если скорость бабы значительна, то получается вредный для работы избыток мощности.

Практик предпочитает молоты умеренной мощности, позволяющие действовать повторными ударами, ограничивая таким образом деформации, хотя с точки зрения полезного действияковка повторными ударами—менее экономична.

На полезное действие удара неблагоприятное влияние оказывает большая скорость, так как тогда развиваются большие силы инерции, происходит большое выделение тепла, максимальное давление увеличивается и усталость инструмента возрастает. Полезное действие быстрого удара меньше, как-то показывают различные, приводимые ниже опыты.

На практике, вполне основательно, тяжелые тихоходные молоты предпочитают легким и быстроходным, если только не требуется быстроты работы и не считаются со стоимостью движущей энергии. При этом точно так же надо принимать во внимание быстроту охлаждения поковки, имеющую громадное влияние на полный коэффициент полезного действия.

Влияние массы опоры.

Наконец, весьма важное значение имеет масса, на которую опирается поковка.

Если эта масса небольшая, свободная или очень упругая, удар может ее сместить, и значительная часть энергии превратится в упругие колебания.

Используем известное уравнение живых сил:

$\frac{Mv^2}{2} = \frac{M'v'^2}{2} = \frac{(M+M')v_1^2}{2} + (\text{работы деформаций и другие работы})$, но так как опорная масса M' предполагается в состоянии покоя, то зависимость принимает вид

$$\frac{Mv^2}{2} = \frac{(M+M')v_1^2}{2}$$

Для того, чтобы живая сила масс M и M' после удара была равна нулю, необходимо, чтобы скорость v_1 также равнялась нулю. Это достигается установкой массы M' на грунт, отчего она получает чрезвычайно большое значение сравнительно с массой M бабы.

Вследствие этого вся энергия $\frac{Mv^2}{2}$ превращается в работу деформации поковки, в теплоту, в вибрации, развивающиеся в массах M и M' , и в остающиеся или упругие деформации этих масс и почвы.

Масса M' состоит из разнородных материалов. Вследствие этого рассчитать реакции этой массы очень трудно, и только одна практика может указать лучшие условия устройства фундаментов.

Прежде всего необходимо выяснить сопротивление наковальни, на которую помещается поковка.

Степень упругости различных элементов опоры всегда оказывает большое влияние на полезное действие, на целость и продолжитель-

ность работы частей машины. Резкие и мощные удары не замедляют разбить части машины, обладающие наибольшим сопротивлением. Поэтому-то фундамент устраивают из деревянных брусков, так как дерево прекрасно выдерживает удар благодаря своей упругости, амортизирует вибрации и предупреждает передачу их на расстояние. Главная масса (наковальня, шабот) делается из чугуна, вес ее от 5 до 15 раз больше веса бабы в больших молотах и от 10 до 20 раз в небольших.

Опыты над влиянием веса наковальни.

Для выяснения влияния веса наковальни и относительного веса бабы на действительность удара мы произвели различные опыты, позволяющие установить закон изменений различных элементов явления.

Для этого мы воспользовались чугунными опытными цилиндрами (40×40 мм). Вес бабы $P = 12$ кг. Вес наковальни, поставленной на кирпичную кладку, $Q = 800$ кг.

Мы произвели семь серий опытов при падении бабы с различных высот H при шести разных значениях Q , а именно, 1, 8, 17, 54, 73, 122 и 800 кг.

В качестве наковальни мы воспользовались брусками, подвешенными на длинных веревках, привязанных к стропилам (рис. 73).

Из всех наковален при таких условиях оказалось возможным воспользоваться только шестью, массы которых и упругость веревок не могли изменить результатов опытов. Окончательный опыт производился на наковальне бабы.

Опыты производились при высотах падения в 0,20, 0,40, 0,80, 1,00, 1,40, 1,80 и 2,00 м. Свинцовые опытные цилиндры диаметром и высотой в 20 мм вырезались из длинных прутьев, отлитых вертикально.

Результаты опытов изображены графически, принимая сперва (рис. 74) за абсциссы веса наковален, а за ординаты сжатия цилиндров при каждом ударе бабы, при чем по каждому цилиндру наносился только один удар. Действительность удара измерялась сжатием цилиндра, так как для свинца энергия деформации цилиндра в пределах этих опытов приблизительно пропорциональна сжатиям.

Можно видеть, что, начиная со значений Q , заключающихся между 100 и 200 кг, увеличение веса наковальни не оказывает благотворного влияния на результаты удара.

Для бабы весом 12 кг вполне достаточно свободная наковальня весом 200 кг независимо от высоты падения. Таким образом оправдывается практическое правило конструкторов ковочных молотов, заключающееся в том, что берут Q в 10 или 20 раз больше P . Независимая наковальня, установленная на кирпичный и сравнительно упругий фундамент с деревянными подкладками, дает лучшие результаты, нежели при установке ее на неупругий жесткий фундамент, вызывающий очень резкие удары, разрушающие части молота,

В пределах от 0 до 200 кг кривые мало отклоняются от гиперболы, общее уравнение которой

$$(x - a)(y - b) = c,$$

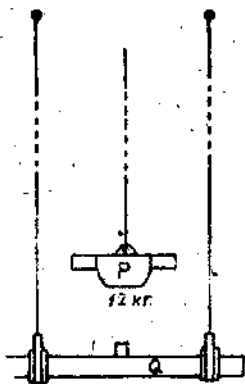


Рис. 73.

при чем значения a , b и c при $H=0,20$ м

$$a=25; b=3,33; c=82,5; ab=c=82,5.$$

Подставляя эти значения в уравнение гиперболы и решая его, имеем:

$$y = \frac{bx}{x+a} = \frac{b}{1+\frac{a}{x}} = \frac{3,33}{1+\frac{25}{x}},$$

где y равняется сжатию цилиндра, а $x=Q$ т.е. весу наковальни.

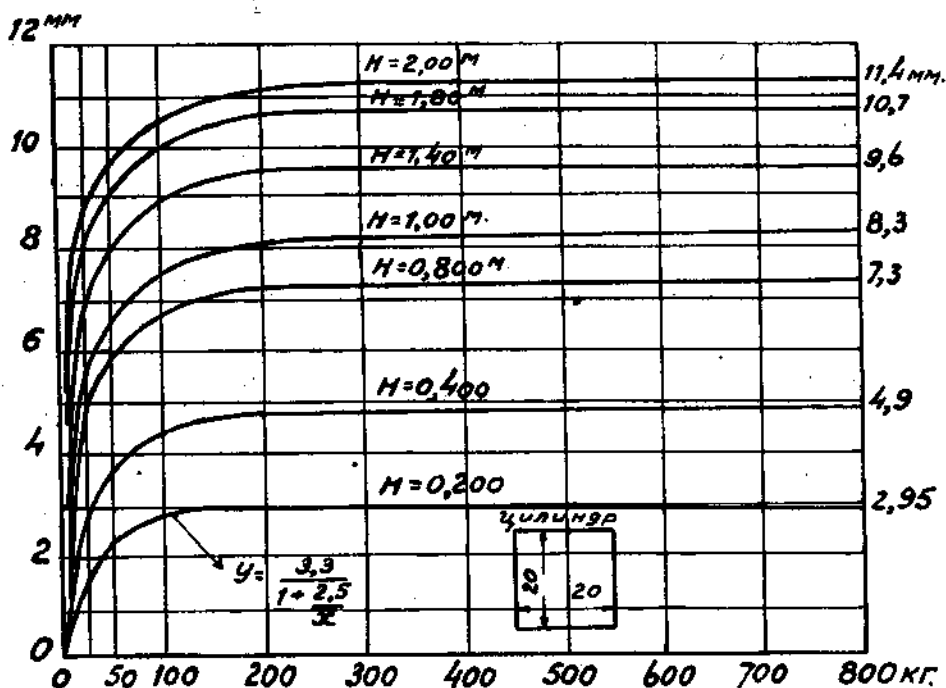


Рис. 74.

При $Q=800$ кг, значение $y=3,3$.

Опыт дает для этого случая значение y , равное 2,9. Разность $3,3 - 2,9 = 0,4$ происходит от влияния фундамента.

Эта формула дает результаты, близкие к результатам, полученным опытным путем.

Во-вторых, мы вычертили кривые (рис. 75) значений y , принимая за абсциссы высоту падений. Кривые вычерчены для значений $Q=25, 50, 100, 200$ и 800 кг. Кривые показывают, что увеличение веса наковальни свыше 200 кг не оказывает влияния на сжатие цилиндров.

При очень большом значении H все эти кривые стремятся к горизонтальной асимптоте, находящейся на 20 мм выше оси абсцисс. Так как кривые имеют закономерный характер, то к ним можно применить общую формулу:

$$y = \frac{20}{1 + \frac{a}{x}}.$$

Так, — при $Q=800$ кг,

$$y = \frac{20}{1 + \frac{0,60}{x}}.$$

Из общего вышеприведенного уравнения живых сил $\frac{Mv^2}{2} = \frac{Mv_1^2}{2} + \frac{M'v_1^2}{2}$ следует, что большая энергия удара соответствует меньшему значению скорости v_1 после удара. Определяя v_1 из предыдущего уравнения, получим $v_1^2 = \frac{Mv^2}{M+M'}$. Из этого выражения видно, что v_1 становится тем меньше, чем больше значение M' по сравнению со значением Mv^2 .

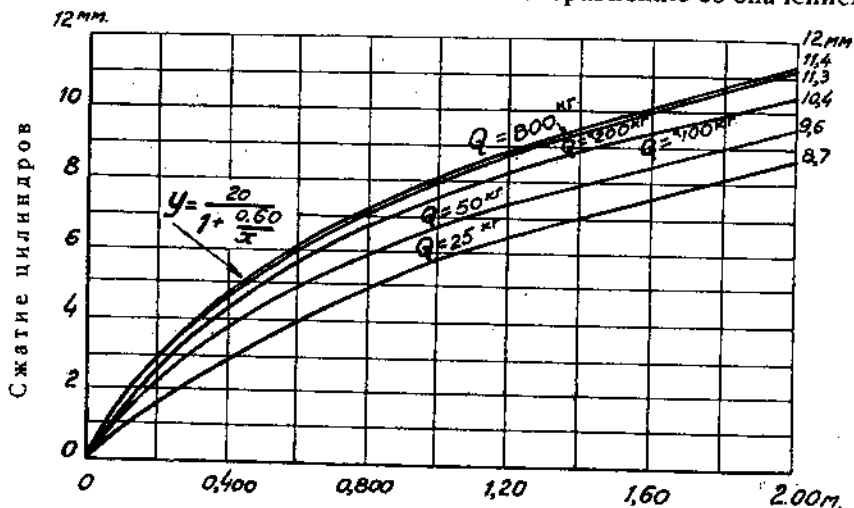


Рис. 75. Высота падения бабы в 12 кг.

Изменяя M' от нуля до достаточно большого значения, закон изменения v_1^2 становится гиперболическим.

Коэффициент полезного действия удара можно рассчитать по энергии сжатия на прессе, а именно: $\frac{\text{энергия прессы}}{\text{энергия молота}} = \frac{W_p}{W_m}$, имея из опыта энергию сжатия на прессе опытных цилиндров при различных сокращениях их высоты. Результаты, приведенные в таблице 9, соответствуют высотам падения в 0,20, 1,00, 2,00 м и весам наковален в 25, 50, 100 и 800 кг.

Таблица 9.

С ж а т и е			У д а р			Отноше- ния $\frac{W_m}{W_p}$	Высота падения
Сжатия	Давления	Расчи- танная энергия W_p	Вес на- ковальни	Сжатия	Энергия пресса W_p		
мм	кг	кг.м	кг	мм	кг.м		
1	260	0,13	25	1,5	0,24	0,100	0,20 м.
2	380	0,4	50	2,3	0,48	0,200	
3	440	0	100	2,8	0,6	0,250	
4	480	1	800	2,95	0,7	0,291	
5	490	1,5	25	5,6	1,7	0,142	1,00 м.
6	520	2,0	50	6,8	2,4	0,200	
7	550	2,6	100	7,5	2,9	0,242	
8	600	3,2	800	8,3	3,5	0,291	
9	700	3,9	25	8,8	3,7	0,154	2,00 м.
10	840	4,7	50	9,7	4,4	0,186	
11	940	5,6	100	10,5	5	0,210	
12	1 300	6,7	800	11,4	6,1	0,255	

Можно видеть — 1) что при этих опытах коэффициент полезного действия очень мал, 2) что при одной и той же высоте падения он возрастает с весом Q наковальни, быстрее при значениях Q между 0 и 100 кг и медленнее при значении Q между 100 и 800 кг. Таким образом, можно видеть влияние высоты падения при том же значении Q . При наковальне весом 25 кг коэффициент полезного действия изменяется, возрастая от 0,100 до 0,154, тогда как при наковальне весом 800 кг коэффициент полезного действия изменяется, несколько уменьшаясь от 0,291 до 0,255¹⁾.

Элементы механической энергии молота.

Использование механической энергии молота недостаточно проанализировано практиками, пользующимися этим столь простым и столь мощным орудием даже при малых массах бабы.

Большинство рабочих не представляет себе, что небольшой молоток весом всего в 1 кг при работе вручную, при самых легких повторных ударах развивает относительно большое давление, достигающее от 100 до 1000 и 5000 кг и больше, не вызывая особенной усталости работающего. Рабочий не имеет никакого понятия о подобном механическом действии своего молотка и не может оценить своего усилия при ковке²⁾.

О действии ручного молотка мало отдают себе отчет даже и лица, знакомые с уравнением живых сил; это происходит вследствие того, что ими не было просчитано ни одного подобного случая.

Механическую работу, развиваемую массой движущегося молотка, всегда можно заменить средним постоянным усилием F на протяжении пути E независимо от продолжительности механического действия.

Если мы допустим, например, что молоток весом 1 кг при скорости 4 м/сек перемещает тело, массой которого можно пренебречь, на расстояние $E = 0,001$ м, то усилие, действующее на это тело, можно легко рассчитать по выражениям работы

$$EF = \frac{MV^2}{2} = \frac{PV^2}{2g} = \frac{1 \times 4^2}{2 \times 9,8} = 0,81 \text{ кг.м.}$$

откуда

$$F = \frac{PV^2}{2gE} = \frac{0,81}{0,001} = 810 \text{ кг.}$$

или, округляя, 800 кг. Таким образом, чтобы произвести на тело давление в 800 кг при скорости в 4 метра, требуется очень слабый удар

¹⁾ Селлерс не без оснований дает большее отношение $\frac{W_p}{W_m}$ для молотов, предназначенных дляковки стали, нежели для молотов дляковки железа. Вследствие этого наковальни его молотов двойного действия весят в пять раз больше бабы дляковки железа и в восемь раз больше бабы дляковки стали. С изменением скорости считаться не приходится, если только силы инерции бабы и наковальни изменяются одинаково со скоростью.

Наковальня 100-тонного молота в Крезе весит 720 тонн, молота в Терни весит 990 тонн, 125-тонного молота на Вифлеемском заводе — 2150 тонн, т.е. в 17 раз больше бабы.

²⁾ Сколько раз нам приходилось задавать вопрос слесарям, кузнецам и всем работающим молотком, как они оценивают усилие молотка при различных ударах. Все отвечали одинаково, называя ничтожные значения: несколько килограммов, от 4 до 10 килограммов, и только отдельные лица — от 10 до 20 килограммов. Когда мы говорили им, что усилие их равнялось сотням, тысячам килограммов, они только улыбались. Сколько инженеров и техников находятся в таком же неведении?!

молотка. Мы пренебрегаем здесь всеми явлениями упругости, которые в данных случаях сводятся к уменьшению пути, проходимого инструментом при полезной работе, и к понижению коэффициента полезного действия. В противном случае приходится принимать большие скорости инструмента или вводить в зависимость коэффициент полезного действия K и принимать $EF = K \frac{MV^2}{2}$. Коэффициент K может изменяться от 0,50 до 0,80 в зависимости от каждого случая.

Тот же самый молоток при скорости в 4 м, перемещая тело всего лишь на 0,0001 м, производит усилие в 8 000 кг.

Довольно сильный удар молотка весом 1 кг при скорости в 10 метров, вызывающий перемещение тела на 0,001 метра, производит усилие:

$$F = \frac{1 \text{ кг} \times 100}{2 \times 9,8 \times 0,001} = 5\,000 \text{ кг.}$$

Это усилие обыкновенного небольшого ручного молотка.

Тот же удар, перемещая тело на расстояние в 0,0001 м, производит давление в 50 000 кг. Эти большие значения кажутся преувеличенными и не встречающимися на практике. Однако, можно себе составить понятие об этих величинах, наблюдая работу и давление, необходимое для деформации металлов, обладающих большим сопротивлением. Допустим, что молоток развивает это усилие на стальной кубик в 30 мм в стороне, т.е. на кубик, поверхность которого равняется $30 \times 30 = 900 \text{ мм}^2$. Давление на мм^2 в этом случае будет $\frac{50\,000}{900} = 55 \text{ кг}$, т.е. приблизительно равное тому, при котором металл начинает деформироваться настолько, что деформации можно обнаружить обычным мерительным инструментом.

При падении бабы весом в 10 кг с высоты в 1 м, т.е. при развитии энергии в 10 кг.м и при перемещении в 0,001 м усилие будет:

$$F = \frac{10 \times 1}{0,001} = 10\,000 \text{ кг.}$$

Скорость бабы $V = \sqrt{2gH} = \sqrt{2 \times 9,8 \times 1} = 4,40 \text{ м/сек.}$

Та же баба, падая с высоты в 8 метров, может вызвать на свинце перемещение металла в 0,001 м и развивает усилие в 80 000 кг. Скорость ее $V = \sqrt{2 \times 9,8 \times 8} = 12,50 \text{ м/сек.}$ Эта скорость соответствует скорости молота при очень быстрых ударах.

Для развития такого усилия прессом, последний должен представлять собой механизм, который по своей сложности невозможно сравнивать с ручным молотком. Предполагая, что рабочая площадь бойка молотка равна $60 \times 60 = 3\,600 \text{ мм}^2$ и что удар производит в холодном железе деформацию, требующую давления в 40 кг на мм^2 , приложенное усилие достигнет 144 000 кг. Если баба весом в 125 тонн падает с высоты в 6 м, то энергия удара будет 750 000 кг.м. Допуская, что рабочий путь инструмента равняется 20 мм, усилие или давление в месте контакта с наковальной молота будет:

$$F = \frac{PH}{E} = \frac{750\,000}{0,020} = 37\,500\,000 \text{ кг.}$$

Если стол молота имеет в длину 3,500 м, при ширине в 0,50 м, поверхность его будет 1 750 000 мм^2 . Давление на квадратный миллиметр составит таким образом 21 кг, т.е. будет равняться давлению, необходимому для деформации стали при темно-красном калении. Если принять во внимание коэффициент полезного действия, равный 0,40, то длину пройденного пути E придется допустить только в 8 миллиметров.

При аналогичных условиях пресс в 14 000 тонн мог бы действовать только на площадь в два с половиной раза меньшую. Допуская уменьшение перемещения до 0,01 метра, давление F удваивается и достигает 75 000 000 кг, т.-е. в пять раз превышает усилие прессы. Давление на квадратный миллиметр будет около 40 кг, соответствуя значительной деформации красной меди или начальной деформации холодного железа.

Между этими пределами,—маленьким молотком в 1 кг и колоссальным молотом в 125 000 кг,—сталелитейные заводы располагают целым рядом молотов всех весов, применяющихся в большинстве процессов обработки металлов с такой легкостью управления, какой не обладает ни одна другая машина.

Таким образом, ручной молоток является простейшим инструментом для всякого рода работ, как-то: для вытяжки, высадки, штамповки на оправках ковки, клепки, сварки, складки и т. д.

Точно так же, механический молот применяется для аналогичных работ с переменной, по желанию, скоростью в сравнительно широких пределах.

Мы видим из предыдущего, что молот остается простейшим и универсальнейшим ковочным орудием.

Вместе с тем он и самое мощное орудие. Действительно, только один молот позволяет обработку больших масс железа или стали при низких температурах. Ни одно современное орудие не может развивать таких больших усилий как 125-тонный молот.

Коэффициент полезного действия молота.

Коэффициент полезного действия молота, т.-е. отношение полезной работы к затраченной работе, чрезвычайно колеблется. Он зависит от свойств поковки, от скорости и силы ударов. Коэффициент может равняться нулю при очень упругом металле, например, при ударе по пружине. Коэффициент может быть очень высок, если скорость удара и сопротивление металла не велики. Коэффициенты полезного действия для употребительнейших металлов можно определить опытным путем, изменяя размеры испытуемых образцов, подвергаемых отдельным или повторным ударам, как то обычно принято на практике.

Так как скорости при опытах были различны и опыты производились в условиях, аналогичных условиям заводской работы, то оказалось возможным вывести закон изменения коэффициента полезного действия, сравнить между собой полученные результаты и судить о том, работают ли на заводах в наиболее рациональных условиях.

II. Опыты над ударами.

Так как производство опытов в точно определенных условиях с нагретым металлом, температуру которого невозможно поддерживать постоянной, весьма затруднительно, то пришлось заменить их опытами над ковками в холодном состоянии металлами при обыкновенных температурах. Так, например, мы производили эти опыты над свинцом, обладающим ничтожной упругостью и дающим постоянные остающиеся деформации в тех именно значениях, какие возникают при ударе.

Однако, необходимо также рассмотреть случай ковки металлов, обладающих некоторой упругостью как в холодном, так и в горячем состоянии. Вследствие этого для сравнения результатов и извлечения из

них полезных выводов, пришлось произвести опыты над медью, железом и сталью. Для успешности опытов и упрощения измерений необходимо выбирать опытные образцы возможно простой формы: цилиндрические, кубические, призматические, а также трубчатые, дающие ярко выраженные деформации. Можно с меньшей надежностью воспользоваться пуансоном, загоняя его в довольно толстую сравнительно с его диаметром массу, или еще цилиндрическим стержнем, загоняя его с более или менее сильным трением в отверстия брусков разной толщины.

Пропуская стержень через отверстие, измеряют усилие, вызываемое продольным трением. Затем загоняют стержень ударами молотка равной силы, значение которых определяют, измеряя соответствующие перемещения.

Точное измерение трения производится без затруднений посредством испытательной машины¹⁾. Что касается точного измерения небольшого углубления, то его можно производить микрометром с точностью до сотых долей миллиметра, или путем измерения углублений стержня, соответствующих определенному числу ударов практически одинаковой силы.

Большинство наших опытов производилось с одинаковыми образцами, при чем результаты сопоставляли, измеряя энергию, затрачиваемую испытательной машиной.

Опыт над загонкой стержня в кольцо.

Загонка ручным молотком.— При этих опытах в особенности имелось в виду определение минимальной скорости ручного молотка весом 1 кг и лобового молота в 5 кг в момент удара.

Стержень диаметром 50 мм загонялся последовательно (рис. 76) в кольца, диаметр отверстий которых был несколько меньше диаметра стержня, а высота равнялась 50 мм. Вместе с тем, стержень загонялся несколько раз испытательной машиной для измерения среднего усилия.

Точно так же для измерения перемещения, происходящего от удара молотка, делалось несколько ударов одинаковой силы и бралось среднее из перемещений.

Минимальные значения скорости и ускорений рассчитывались пользуясь уравнениями работы и живой силы, не принимая во внимание потерь. В таблице 10 приведены результаты этих опытов.

При расчетах ускорения и продолжительности падения предполагалось, что движение по траектории было равномерно ускоренным²⁾.

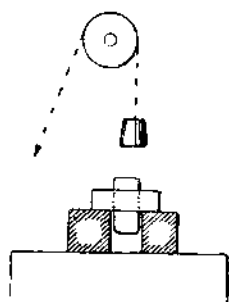


Рис. 76.

¹⁾ Машина Делалоэ (Delaloe — Ang 1885), дающая очень большую, почти математическую точность.

²⁾ Применялись следующие формулы

$$\frac{Mv^2}{2} = \frac{Pv^2}{2g} = EFv = \sqrt{\frac{2gEF}{P}} = 4,4 \sqrt{\frac{EF}{P}}.$$

Продолжительность падения молотка при длине пути E' рассчитывалась по уравнению

$$t = \frac{2E'}{v}.$$

Ускорение рассчитывалось по уравнению $a = \frac{v}{t}$.

Продолжительность удара — по уравнению $t' = \frac{vP}{gF}$.

Опыты над загонкой ударами стержни в кольцо.

Усилие пресса	Углубление стержня под ударом	Работа $T\phi$	Вес молотка или бабы	Путь или высота падения	Скорость в момент удара	Продол- жительн. падения	Ускоре- ние	Энергия бабы W_m	Отно- шение $\frac{W_p}{W_m}$	Примечание
K_2	M	$K_2 \cdot M$	K_2	M	$M \text{ сек}$	$сек$	M	$K_2 \cdot M$		
300	0,004	1,2	1	1	4,84	0,41	12			Очень слабые удары: удар сто- лярного молотка производит тот же эффект.
2 400	0,002	4,8	1	1,50	9,60	0,31	35			Довольно сильный удар.
2 400	0,003	12	1	1,70	15,20	0,22	69			Очень быстрый удар.
6 500	0,001	6,5	1	1,60	11,20	0,285	38			Довольно сильный удар.
12 000	0,00065	7,9	1	1,70	12,40	0,275	45			Очень сильный удар.
13 600	0,0004	5,44	1	1,70	10,30	0,33	31			" " "
2 400	0,009	21,6	5	2,30	9,28	0,50	18,56			Ручной молот, при 40 ударах в минуту.
6 500	0,003	19,4	5	2,30	8,70	0,53	16,4			
12 000	0,0014	16,8	5	2,30	8,00	0,575	13,9			
13 600	0,0012	16,2	5	2,30	7,90	0,585	13,8			
6 200	0,0014	8,7	11	1	4,40	0,45	9,8	11	0,79	Вертикальное падение бабы весом 11 кг
6 200	0,0026	16,3	11	2	6,20	0,64	9,8	22	0,74	
6 200	0,0050	31,0	11	4	8,80	0,90	9,8	44	0,70	
8 500	0,0009	7,6	11	1	4,40	0,45	9,8	11	0,69	
8 500	0,0018	15,2	11	2	6,20	0,64	9,8	22	0,69	
8 500	0,0026	22	11	3	7,60	0,79	9,8	33	0,66	
13 600	0,0024	32,6	11	4	8,80	0,90	9,8	44	0,74	
13 600	0,0028	38	11	5	9,80	1,10	9,8	55	0,69	
13 600	0,0030	41	11	6	10,4	1,15	9,8	66	0,62	

Этот опыт ясно показывает, насколько велико усилие, которое можно получить от обыкновенного молотка весом в 1 кг.

Можно видеть, что сопротивление в 13 600 кг перемещается на 0,0004 м при сильном ударе с размахом в 1,75 метра, дающем скорость в момент удара, равную 10,3 метра.

Предельная доступная измерению микрометром деформация образца под ударом молота в 1 кг соответствует усилию от 15 000 до 20 000 кг, дающему сжатие в 0,0001 метра. Максимальная рассчитанная скорость ручного молотка при различных ударах, указанных в таблице, колеблется между 4,84 и 15,20 метра. Таким образом можно судить об относительной скорости, сравнивая эти скорости со скоростями свободно падающей с различных высот бабы.

Можно было легко рассчитать затрату энергии на работу молотка в течение определенного промежутка времени, так как удары производились регулярно.

При одном ударе в секунду работа колеблется от 1 кгм до 12 кгм.

Наблюдая за движениями молотка при помощи метронома, оказалось, что падение ручного молотка вдвое быстрее его подъема.

Загонка лобовым молотом.—Опыты с лобовым молотом весом 5 кг дали довольно сходные результаты, показывающие, что скорости в момент удара (расчитанные скорости, являющиеся относительно минимальными) могут изменяться приблизительно от 8 до 10 м/сек, при чем ускорения значительно меньше, нежели у ручного молота.

Лобовой молот в 5 кг может делать в среднем 40 ударов в минуту, так что принимая работу при каждом ударе в 20 кгм, работа в секунду составит:

$$\frac{20 \times 40}{60} = 13 \text{ кгм/сек.}$$

Эта работа может быть получена по желанию, при усилиях от 10 000 до 30 000 кг. При этих значениях наблюдается еще заметная деформация. При усилии в 50 000 кг сжатие цилиндра или перемещение стержня в кольце равняется, примерно, 0,0001 метра.

Принимая во внимание потерю живой силы от деформации и инерции загоняемого стержня и полагая, что эффективная работа молота достигает значения 1,3 (EF), скорость надо помножить $\sqrt{1,3} = 1,15$, продолжительность работы надо разделить на этот коэффициент, а ускорение помножить на 1,3. Коэффициент полезного действия будет:

$$K = \frac{1}{1,3} = 0,77.$$

Это значение 1,3 (EF) подтверждается нижеследующими опытами.

Загонка бабой, падающей с разных высот.—Чтобы определить коэффициент полезного действия удара бабы по загоняемому с трением стержню, мы дополнили предыдущие опыты опытами с бабой, падающей с различных известных высот. Таким образом, точно зная, с одной стороны, затраченную работу $W_m = PH$ и с другой—полезную работу $W_u = EF$, можно установить их отношение $\frac{W_u}{W_m}$.

Результаты этих опытов, приведенные в таблице 10, показывают что коэффициент полезного действия может достигать 0,79, что он больше при малой скорости, нежели при большой, т.е. при малых высотах падения, а не при больших.

Коэффициент при постоянном весе молотка понижается также вместе с уменьшением усилий, или бабы.

В этих опытах трудно сохранить постоянство размера загоняемых повторными ударами стержней, необходимое для определения среднего перемещения. Кроме того, кольца лопаются, пригонка частей затруднительна, почему мы предпочли пользоваться при дальнейших опытах опытными цилиндрами.

Сравнительные опыты над прессованием и ударами, опыты Казалонга и Шомиенна.

Мы хотели только повторить и проверить результаты опытов, опубликованных Казалонга и Шомиенном в их замечательном исследовании пресса и молота „Bulletin Technologique“ (Январь 1888 г.).

Однако, сравнивая эти опыты, мы нашли в них некоторые аномалии, вынудившие нас произвести ряд новых опытов.

Так как мы не располагали бабой в 3 500 кг, то повторили все эти опыты таким образом, чтобы можно было выявить отношение между энергией, развиваемой молотом, и энергией, развиваемой прессом.

Результаты опытов приведены в таблице 11. Из опытов Казалонга вытекает закон быстрого возрастания отношения:

$$\frac{W_p}{W_m} = \frac{\text{энергия пресса}}{\text{энергия молота}},$$

тогда как по опытам Шомиенна это отношение почти постоянное.

Опыты Казалонга.—Сохраняя все значения, относящиеся к опытам Казалонга над ударами, мы произвели на испытательной машине три

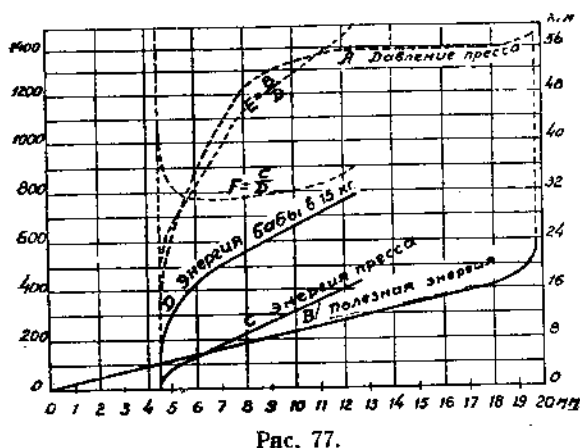


Рис. 77.

опыта над углублением пуансона в 20 мм диаметром в свинцовый брусок сечением 30×30 мм и взяли среднее из наблюдаемых давлений (таблица 12). Диаграмма давлений или усилий, вызывающих углубления пуансона, изображена кривой A (рис. 77).

Можно заметить довольно любопытное явление, что усилие остается постоянным на протяжении большей части углубления пуансона. Металл течет во всей своей массе

и дает очень интересные деформации, но потребовалось бы слишком много места, чтобы подробно их изложить.

По кривой давлений, построенной соответственно значениям углублений пуансона, мы вывели последовательные значения полезно затраченной энергии, изображенные ординатами кривой B.

Значения отношений $\frac{W_p}{W_m}$ значительно отличаются от результатов Казалонга, как то можно видеть по кривым E и F.

Опыты Шомиенна.—Сравнительные опыты над ударами и сжа-

Таблица 11.

Сравнительные опыты над прессованием и ударами.

Характеристика образца	Вес бабы	Высота падения	Энергия бабы W_m	Давление пресса	Углубление пуансона или сжатие	Энергия пресса W_p	Отношение $\frac{W_p}{W_m}$
	кг	м	кг.м	кг	мм	кг.м	
Углубление пуансона диаметром 20 мм в свинцовый брусок сечением 30/30 мм (1).	15	0,50	7,5	309,9	4,6	1,42	0,189
	15	0,75	11,25	619,8	5,0	3,09	0,275
	15	1,00	15	774,7	5,7	4,41	0,295
	15	1,50	22,5	1 239,6	8,2	10,17	0,445
	15	2,00	30	1 394,5	12,6	17,35	0,578
Свинцовый опытный цилиндр diam. 100 мм и высотой 100 мм	3 500	0,25	875	30 000	32	960	1,100
	3 500	0,50	1 750	46 000	43,5	2 000	1,140
	3 500	1,00	3 500	59 000	61	3 599	1,020
Такие же стальные цилиндры при вишнево-красном калении (2)	3 500	0,50	1 750	42 000	17,5	735	0,417
	3 500	1,00	3 500	59 000	26,5	1 563,5	0,447
	3 500	1,50	5 250	80 000	35,5	2 840	0,530
Свинцовые цилиндры, сплющиваемые нормально образующим (2)	3 500	0,50	1 750	40 000	42	1 680	0,420
Стальной цилиндр тех же размеров (2).	3 500	1,00	3 500	73 000	36	2 628	0,358
Углубление двух гвоздей в стальные нагретые подкладки (2).	3 500	1,00	3 500	53 000	37	1 961	0,560

Примечания.

(1). Опыты Казалонга (рис. 77).

Ординаты кривой *C* соответствуют значениям энергии пресса. Кривая *D* относится к энергии бабы. Ординаты кривой *E* соответствуют значениям отношений $\frac{W_p}{W_m}$.

(2). Опыты Шомиенна.

Не следует упускать из вида, что рассчитанные по максимальным усилиям энергии пресса приблизительно в полтора раза больше действительных. Поэтому отношения $\frac{W_p}{W_m}$ больше единицы, чего не может быть. Точно так же при опытах со сталью энергии W_p также слишком высоки, вследствие чего отношения также очень велики. Тем не менее эти отношения сравнимы, хотя только относительно. Точное их значение должно быть около 0,50.

Отдельные опыты дают лишь отношение $\frac{W_p}{W_m}$, не выявляя закона, тем более, что и в этом случае значения усилий пресса слишком далеки от их среднего значения, чтобы по ним вывести приблизительно полезную энергию, развиваемую прессом.

тием, произведенные Шомиенном со свинцовыми цилиндрами диаметром и высотой 100 мм, дают для ударов кривую энергии H (рис. 78), а для давлений — кривую энергии G .

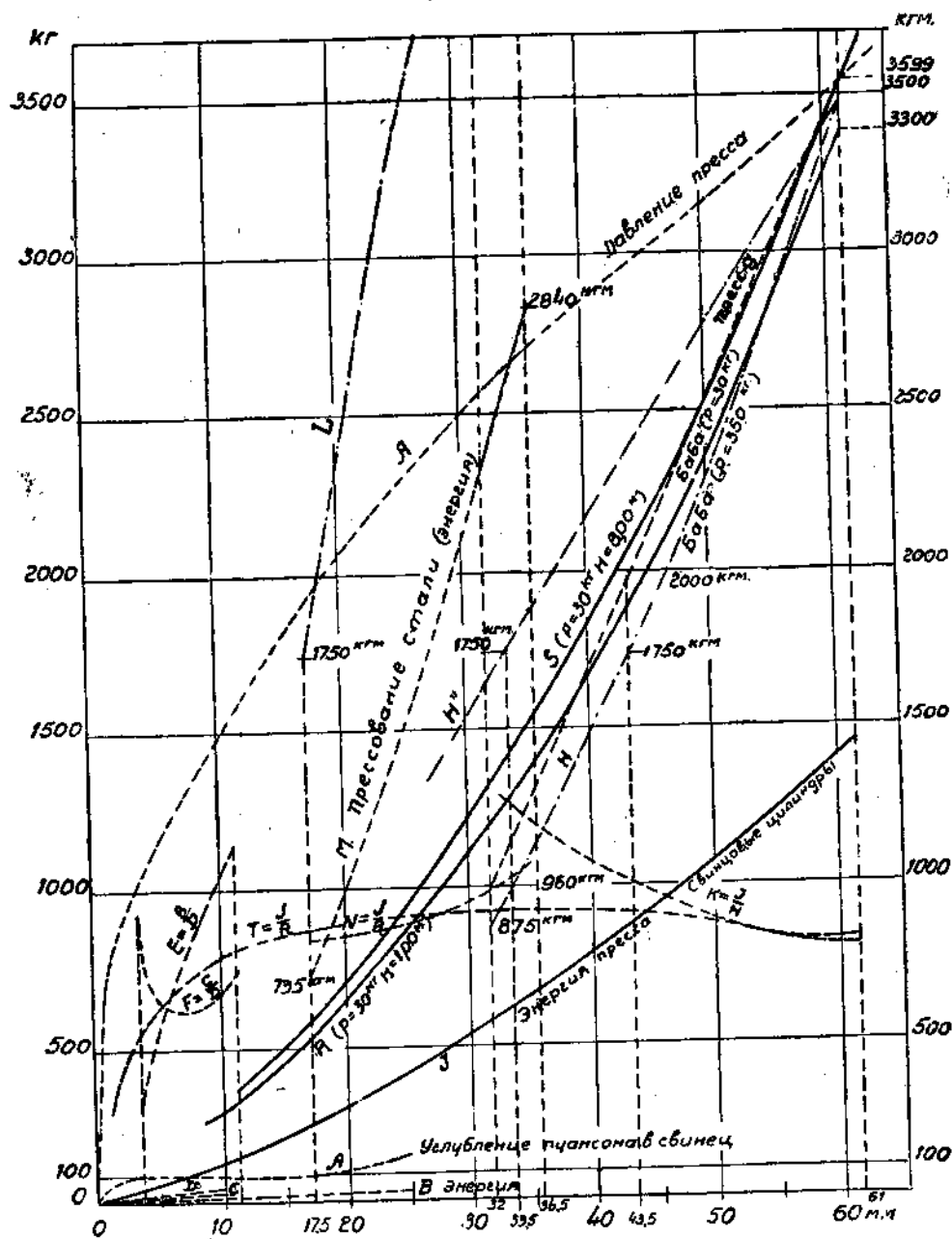


Рис. 78.

Не следует упускать из вида, что энергии, выраженные кривой G , слишком велики, так как это окончательные, максимальные. Нельзя из этого делать вывода, что удар требует меньшей затраты энергии,

Сравнительные данные опытов прессования и удара (по Казалонга).

Характеристика образца	Последовательное давление	Углубление пуансона	Энергия пресса	По Казалонга				Энергия пресса W_p	Отношение $\frac{W_p}{W_m}$
				Вес бабы	Высота падения	Углубление пуансона	Энергия W_m		
	кг	мм	кг.м	кг	м	мм	кг.м	кг.м	
Железный пуансон, диаметром 20 мм, загонялся в свиновый брусок, сечением 30/30 мм.	100	0,1	—	—	—	—	—	—	—
	200	0,2	—	—	—	—	—	—	—
	400	0,5	—	—	—	—	—	—	—
	600	1,0	0,4	—	—	—	—	—	—
	800	2,0	1,1	—	—	—	—	—	—
	950	4,6	—	15	0,50	4,6	7,5	3,5	0,467
	950	5,0	3,90	15	0,75	—	11,25	3,9	0,347
	950	5,7	—	15	1,00	5,7	15,0	4,58	0,306
	950	8,2	—	15	1,50	8,2	22,5	7	0,312
	950	10,0	8,75	—	—	—	—	—	—
Продолжительность опыта 5 мин. 32 сек. (При опыте одинаковой продолжительности дали почти одинаковые результаты).	950	12,4	—	15	2,00	12,4	30,0	11,08	0,366
	950	15,0	13,60	—	—	—	—	—	—
	950	18,0	16,51	—	—	—	—	—	—
	1 000	19,0	17,50	—	—	—	—	—	—
	1 250	20,0	18,56	—	—	—	—	—	—
1 400	24,0	23,63	—	—	—	—	—	—	—
1 450	25,0	25,16	—	—	—	—	—	—	—

нежели медленное давление, как то показывают отношения $\frac{W_p}{W_m} = 1,1, 1,14, 1,02$.

Эти значения тем не менее свидетельствуют, что энергия прессы, работающего постоянным давлением, т.е. при установившемся режиме, требовала бы большего расхода пара, нежели то требуется для действующего расширения парового молота.

Чтобы получить более точные данные, мы сжимали в испытательной машине свинцовые цилиндры в 100 мм диаметром и высотой.

Результаты этих опытов приведены в таблице 13. На диаграмме (рис. 78) кривая давлений I , по которой мы вывели кривую энергии J , очень плавного характера и значительно отклоняющаяся от кривой G . Мы рассчитали отношения $\frac{W_p}{W_m}$, дающие кривую K понижающуюся, а не возрастающую как кривая E .

Из этого можно сделать вывод, что среднее значение отношения $\frac{W_p}{W_m}$ близко к 0,50, т.е. что при одинаковых свинцовых цилиндрах затрачиваемая молотом энергия вдвое больше полезной энергии, затрачиваемой прессом и что при мягком металле выгоднее действовать слабыми ударами, нежели сильными. Тот же молот при той же наковальне дает высший коэффициент полезного действия при малой скорости или малой высоте падения, нежели при больших скоростях, получающихся вследствие большей высоты падения бабы или вследствие добавочного действия пара, как, например, в молотах двойного действия.

Опыты над повторными ударами. Влияние веса бабы.

Для сравнения действия тяжелой бабы в 3500 кг на свинцовый цилиндр диаметром и высотой 100 мм с действием бабы весом 30 кг, падающей с высоты в 1 метр, мы произвели ряд опытов с повторными ударами, вызывающими общую деформацию, равную с деформацией, производимой падением бабы в 3500 кг с высоты в 1 метр.

Результаты этих опытов, приведенные в таблице 14, дали кривую R , мало отклоняющуюся в каждой точке от кривой H для тяжелой бабы: ордината этой кривой (3500) соответствует абсциссе в 61 мм.

Этот результат в высшей степени любопытен. Он прекрасно подтверждает правило, что при ковком металле коэффициент полезного действия легкой бабы, действующей повторными ударами, одинаков с таким же коэффициентом тяжелой бабы, действующей одним ударом.

Произведенный опыт в особенности замечателен тем, что отношение весов баб $3500:30 = 116$ — весьма велико.

Кривая S соответствует дополнительному опыту, произведенному с цилиндром того же размера, что и предыдущие, при весе бабы 30 кг и высоте падения 8 м; результаты этого опыта приведены в той же таблице 13. Кривая S ясно показывает влияние скорости падения бабы. Коэффициент полезного действия бабы меньше при большей скорости, нежели при малой, что снова подтверждает приведенное выше правило для ковких металлов.

В таблице 14 даны также отношения $\frac{W_p}{W_m}$. Кривая T изображает отношения ординат кривых $\frac{J}{R}$ и показывает, что если значения

Таблица 13.

Сравнительные данные опытов прессования и удара по Шомпенну.

Характеристика образца	П р е с с			П о ш о м и н н у					Энергия пресса $\frac{W_p}{W_m}$	Отношение $\frac{W_p}{W_m}$
	Последо- вательное давление	Сжатие	Загравенная энергия пресса W_p	Вес бабы	Высота падения	Сжатие	Энергия W_m			
Литой свинцовый опытный цилиндр: Высота = 100 мм. Диаметр = 100 мм.	кг	мм	кгм	кг	м	мм	кгм			
	4 000	0,5								
	6 000	1								
	8 000	2	10,5							
	11 700	6	38							
	15 500	12	141							
	20 800	20	290							
	23 600	26	422							
	26 000	32	570,5	3 500	0,250	32	875	570,5	0,651	
	28 700	40	789,5							
Продолжительность опыта до этого момента: 28 мин.	29 600	43		3 500	0,500	43	1 750	890	0,510	
	31 500	50	1 089							
	33 300	56	1 280							
	34 700	60	1 412							
Полная продолжительность опыта: 52 мин.	35 100	61		3 500	1,000	61	3 500	1 450	0,414	
	35 500	62	1 479							
	36 500	64	1 548							

Таблица 14 А.

Опыты над повторными ударами.

(Вес бабы 30 кг).

Характеристика образца	В ы с о т а п а д е н и я = 1 м			
	Сжатие	Энергия бабы W_m	Энергия пресса W_p	Отношение $\frac{W_p}{W_m}$
Свинцовый опытный цилиндр: Высота = 100 мм. Диаметр = 100 мм.	мм	кгм	кгм	
	1,3	30	4,5	0,15
	3,0	60	15	0,25
	4,0	90	26	0,29
	5,2	120	35	0,292
	6,2	150	44	0,293
	7,0	180	65	0,36
	7,6	210		
	8,5	240		
	9,8	270		
	11,0	300	122	0,405
	11,8	330		
	12,9	360		
	13,5	390		
	14,5	420		
	15,2	450		
	15,8	480		
	16,4	510		
	17,5	540		
	18,2	570		
	19,0	600	265	0,44
	19,7	630		
	20,5	660		
	21,2	690		
	21,8	720		
	22,6	750		
	23,2	780		
	23,8	810		
	24,5	840		
	25,3	870		
	25,9	900		
	26,6	930		
	27,2	960		
	28,0	990	470	0,474
	28,5	1 020		
	29,2	1 050		
	30,1	1 080		
	30,6	1 110		
	31,0	1 140	540	0,475
	31,7	1 170		
	32,2	1 200	576	0,48
	32,6	1 230		
	33,2	1 260		
	33,8	1 290		
	34,4	1 320		
	34,9	1 350		
	35,4	1 380		
	35,8	1 410		
	36,4	1 440		
	36,8	1 470		
	37,2	1 500		
	37,6	1 530		
	38,0	1 560	732,5	0,472
	38,5	1 590		

Опыты над повторными ударами.
(Вес бабы 30 кг).

Таблица 14 В.

Характеристика образца	Высота падения = 1 м			
	Сжатие	Энергия бабы W_m	Энергия пресса W_p	Отношение $\frac{W_p}{W_m}$
Свинцовый опытный цилиндр: Высота = 100 мм. Диаметр = 100 мм.	мм	кгм	кгм	
	39,0	1 620		
	39,5	1 650		
	40,0	1 680	789,5	0,47
	40,5	1 710		
	41,1	1 740		
	41,5	1 770		
	42,0	1 800	847	0,47
	42,5	1 830		
	43,0	1 860		
	43,5	1 890		
	44,0	1 920	906	0,47
	44,5	1 950		
	45,0	1 980		
	45,4	2 010		
	45,8	2 040		
	46,1	2 070		
	46,4	2 100		
	46,7	2 130		
	47,0	2 160		
	47,4	2 190		
	47,7	2 220		
	48,1	2 250		
	48,5	2 280		
	49,0	2 310		
	49,4	2 340		
	49,9	2 370		
	50,2	2 400	1 110	0,464
	50,5	2 430		
	50,8	2 460		
	51,2	2 490		
	51,5	2 520		
	51,8	2 550		
	52,1	2 580		
	52,5	2 610		
	52,9	2 640		
	53,3	2 670		
	53,7	2 700		
	54,0	2 730	1 215	0,45
	54,4	2 760		
	54,7	2 790		
	55,1	2 820		
	55,5	2 850		
	55,8	2 880		
	56,1	2 910	1 190	0,41
	56,4	2 940		
	56,8	2 970		
	57,1	3 000		
	57,4	3 030		
	57,7	3 060		
	58,0	3 090	1 345	0,43
	58,3	3 120		
	58,6	3 150		
	58,9	3 180		

Опыты над повторными ударами.

(Вес бабы 30 кг).

Характеристика образца	Высота падения = 1 м			
	Сжатие	Энергия бабы W_m	Энергия пресса W_p	Отношение $\frac{W_p}{W_m}$
Свинцовый опытный цилиндр: Высота = 20 мм. Диаметр = 100 мм.	мм	кг.м	кг.м	
	59,3	3 210		
	59,6	3 240		
	59,9	3 270		
	60,2	3 300		
	60,5	3 330		
	60,8	3 360		
	61,1	3 390	1 450	0,424
	61,4	3 420		
Высота падения = 8 м				
	8,2	240	88	0,367
	14,5	480	180	0,375
	20,5	720	300	0,415
	25,0	960	400	0,416
	29,6	1 200	512	0,428
	34,0	1 440	623	0,435
	37,6	1 680	722	0,430
	41,5	1 920	830	0,434
	44,6	2 160	932	0,434
	48,2	2 400	1 085	0,452
	51,5	2 640	1 130	0,430
	53,5	2 880	1 200	0,415
	55,0	3 120	1 350	0,432
	59,5	3 360	1 400	0,416
	62,0	3 600	1 479	0,410

П р и м е ч а н и я.

Эти опыты показали, что деформации при высоте падения в 1 метр более равномерны, чем при высоте падения 8 метров.

Боковая поверхность цилиндра не остается ровной, а получается, как то можно видеть на рис. 79. По этому рисунку можно судить о происходящих деформациях прямолинейных до начала опыта, образующих



Рис. 79. Масштаб 1:2.

возрастают при первых ударах, то при последующих ударах они остаются почти постоянными, и затем уменьшаются при больших деформациях. Таким образом, коэффициенты полезного действия первых ударов несколько ниже таких же коэффициентов ударов, вызывающих дальнейшие деформации,

Эти опыты еще раз заставляют констатировать факт, что тяжелая баба в 3500 кг при высотах падения менее 1 м выгоднее бабы в 30 кг, действующей повторными ударами с высоты в 1 метр или в 8 метров. Надо заметить, что разница не велика, и что, практически, принимая во внимание продолжительностьковки, в особенности горячейковки, при быстром падении температуры, надо действовать не теряя времени и потому лучше пользоваться мощным молотом, т.-е. таким, вес бабы которого соответствует массе поковки.

Добавим, что при бабе в 30 кг, падающей повторно с высоты в 1 метр, можно вызывать дальнейшие сжатия поковки, тогда когда пресс в 40000 кг оказывается бессильным.

Цифры 30 кг и 40000 кг красноречиво говорят о выгодах ударного действия.

Опыты Шомиенна с нагретыми до светло-вишнево-красного каления стальными цилиндрами дали вполне согласованные результаты, а потому, основываясь на этих цифрах, мы вывели отношения $\frac{W_p}{W_m}$, дающие закон незначительного возрастания этой величины (таблица 11 и диаграмма рис. 77).

Энергия молота изображена кривой L , а энергия прессы — кривой M .

Отношения $\frac{W_p}{W_m}$ дают кривую N , ординаты которой все еще довольно близки к 0,50.

Из этих опытов над сталью вытекает, что металл при вишнево-красном калении, обладает еще некоторой упругостью и что выгоднее пользоваться молотом, действуя самыми сильными ударами, а именно: ударами, соответствующими при той же бабе наибольшей высоте падения.

Таким образом, это правило прямо противоположно правилу дляковки свинца. Это правило подтверждается, так же как и предыдущие, нашими дальнейшими опытами.

Необходимо проверить этот закон, так как указанные усилия прессы соответствуют максимальным в конце деформации (в конце сжатия цилиндра) и дают приведенные в таблице значения энергии приблизительно в полтора раза больше, вследствие чего отношения $\frac{W_p}{W_m}$ слишком велики и их можно принимать только как относительные.

Отношение затрат энергии на сжатие свинца и на сжатие стали при вишнево-красном калении.

Особенно интересным обстоятельством в этих опытах является возможность точно, по крайней мере при сжатии, например, до 32 мм, установить отношения затрачиваемой бабой энергии для свинца и для стали при вишнево-красном калении.

Для свинца энергия, вызывающая сжатие в 32 мм, равняется 875 кгм.

Для стали, пользуясь кривой L , можно определить при том же сжатии затрату энергии в 4570 кгм, что дает отношение:

$$\frac{\text{свинец}}{\text{сталь при вишнево-красном калении}} = \frac{875}{4570} = 0,191$$

или, округляя, 0,2. Это значит, что дляковки под молотом стали при вишнево-красном калении требуется энергии в пять раз больше, чем дляковки свинца. Такое отношение кажется нам небольшим. Дальше мы увидим, что для холоднойковки меди требуется затрата энергии в 25—30 раз больше, нежели дляковки свинца. Так как медь по своим свойствам может соответствовать мягкой стали при светло-красном калении, то казалось бы, что сталь при вишнево-красном калении должна была требовать энергии приблизительно в 10 раз больше энергии, потребной для свинца.

Остальные приведенные в таблице опыты производились только над одним цилиндром и потому не позволяют сделать полезного сравнения.

Опыты над повторными ударами. Влияние скорости бабы.

Эти опыты производились с точеными свинцовыми цилиндрами приблизительно одинаковых размеров, с допусками в одну или две десятых миллиметра. Цилиндры вырезались из одной и той же свинцовой катаной плиты, обтачивались и шлифовались.

Приведенные в таблице 15 значения являются средними из двух или трех опытов, которые дали весьма близкие результаты, вследствие чего отдельные точки очень мало отклоняются от нанесенных кривых.

При каждом ударе бабы цилиндр поворачивали для сохранения возможной симметрии.

Толщина измерялась всегда в середине образца, так как торцы имели неровности, достигавшие порой полумиллиметра, а иногда и 1 мм, чего очень трудно избежать при таких опытах. Средние значения нескольких опытов позволяют исправить эту погрешность.

Рассматривая кривую A (рис. 80), относящуюся к случаю повторных ударов бабы, падающей с высоты в 1 метр, можно заметить ее почти математическую плавность и выпуклость в сторону оси абсцисс. Форма кривой показывает, что изменение энергии, потребной для пропорциональных сжатий, возрастает очень быстро и стремится к бесконечности при уменьшении толщины цилиндра до нуля, т.-е. когда сжатие достигает значения, равного высоте последнего. Асимптотой этой кривой является ордината, соответствующая высоте цилиндра в 34,5 мм.

Кривые B , C , D , E , соответствующие высотам падения в 2, 3, 6 и 8 метров, значительно отличаются от кривой A и друг от друга и не пересекаются.

Они показывают, что при том же весе бабы для производства тех же деформаций затрата энергии возрастает при увеличении высоты падения.

Поэтому лучше ковать свинец большим числом повторных ударов, нежели небольшим числом ударов большой живой силы.

Потеря энергии в последнем случае больше и затрачивается:

1) на более сильную вибрацию наковальни, что можно легко заметить по большей звучности ударов и

2) на образование тепла или повышение температуры, которую легко обнаружить наощупь.

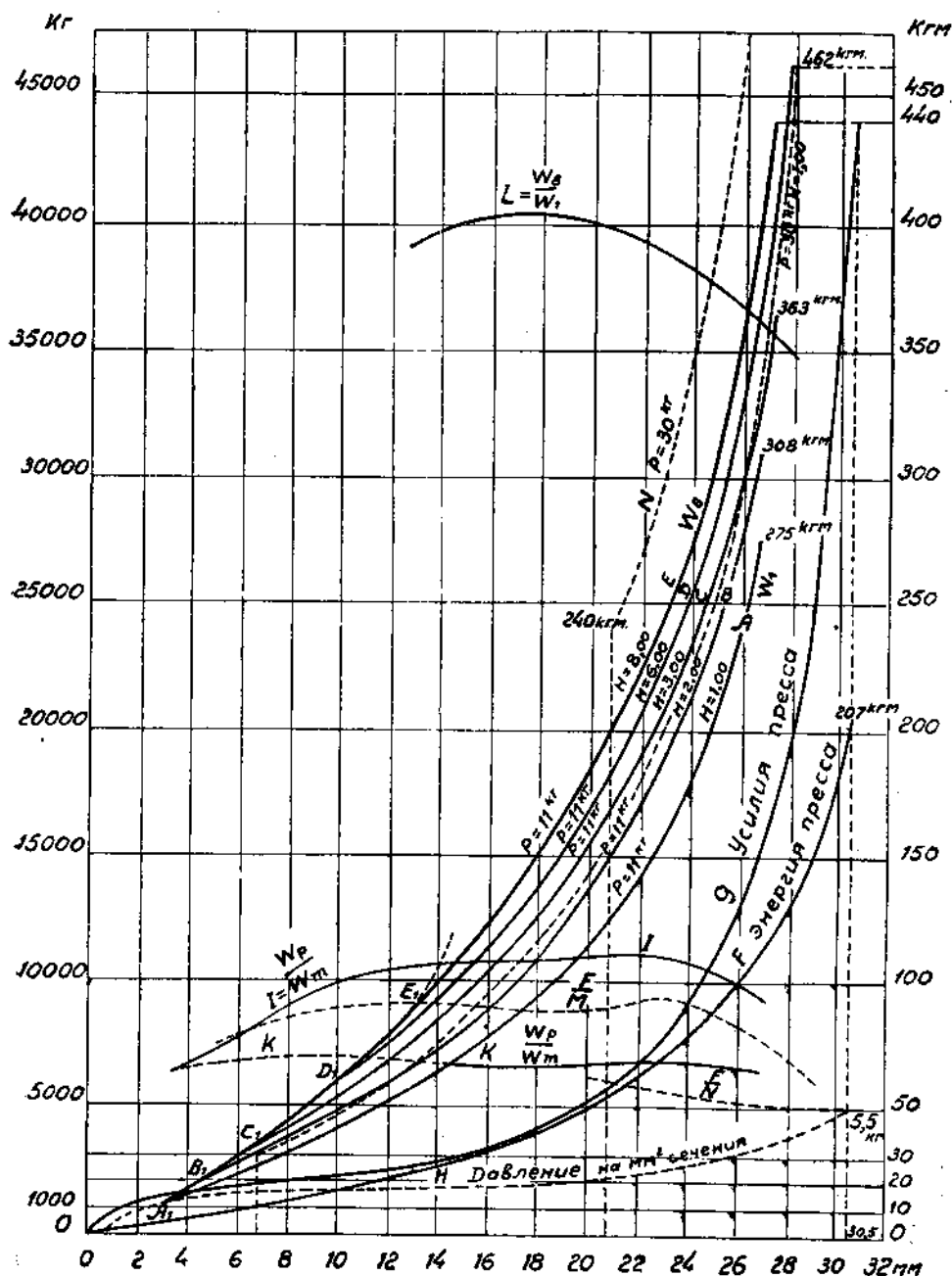


Рис. 80.

Так цилиндр, подвергающийся ударам бабы, падающей с высоты в 1 метр, не нагревается, тогда как температура других цилиндров, после нескольких ударов бабы с высоты 6 метров, достигала от 40 до 60 градусов.

Опыты над повторными ударами
(Вес бабы 11 кг).

Характеристика образца	Опыты над сжатием в испытательной машине					Энергия ударов при вылете падающего 1 м $\frac{W_p}{W_m}$	Энергия ударов при вылете падающего 8 м $\frac{W_p}{W_m}$	Отношение $\frac{W_p}{W_m}$
	Сжатие	Давление	Энергия $\frac{W_p}{p}$	Средний диаметр контакта	Поверхность на мм^2			
						мм	кг	кг.м
Свинцовый цилиндр: Высота = 34,5. Диаметр = 38,4. Начальное сечение было 1158 мм ² , давление на мм ² , соответствующее сжатию в 1 мм, 800 $\frac{800}{1158} = 0,69 \text{ кг/мм}^2$. 1) От начала опыта: 8 мин. 2) От начала опыта: 15 мин. 3) От начала опыта: 20 мин. 4) Полная продолжительность опыта 33 мин. Диаметр деформированного образца — 101 мм. Поверхность — 8012 мм. Давление на кв. миллиметр 4400, $\frac{4400}{8012} = 5,5 \text{ кг/мм}^2$.	0,25	450						
	0,5	600						
	1	800		38,4	1158	0,69		
	2,5	1400	2,4				13	0,26
	3,5	1650	3,4	40	1256	1,30	22	0,292
	5,5	1960	6,4				41	0,390
	9,5	2290	16					
	10,5	2410		44	1520	1,58	56	0,418
	11,5 ¹⁾	2500						
	13,5	2770	27				94	0,277
	14,5	3400						
	15,5	3510	32,2	50	1963	1,79	75	0,428
	19,5 ²⁾	5250						
	20,5	5700	53	57	2552	2,23	122	0,434
	22,5	7450	68	62	3019	2,47	150	0,453
	24,5	9700	84	68	3632	2,68	193	0,435
	25,5 ³⁾	11900	93,5					
	26,5	13950	107	73	4285	3,30	268	0,398
	28,5	22850	141	84	5542	4,10		
	29,5	31000	167					
	30,5 ⁴⁾	44000	207	101	8012		390	0,274

Таблица 15 В.

Опыты над повторными ударами.
(Вес бабы 11 кг).

Характеристика образца	Высота падения = 1 м				
	Последовательная высота цилиндра	Диаметр на середине высоты	Средний диаметр основания	Сжатие	Энергия бабы
Одинаковые опытные цилиндры высотой — 34,5 и диаметром 38,4. (Данные взяты средние из двух или трех опытов).	мм	мм	мм	мм	
	34,5	38,4	38,4	—	—
	31,3	41,8	40,0	3,2	11
	28,9	42,7	41,1	5,6	22
	26,3	45,3	42,2	8,2	33
	24,2	46,9	43,7	10,3	44
	22,1	48,8	45,5	12,4	55
	20,2	52,6	48,0	14,3	66
	18,6	54,8	49,5	15,7	77
	17,3	56,0	51,5	17,2	88
	15,7	58,5	53,8	18,8	99
	15,0	59,6	55,0	19,5	115
	14,1	61,8	57,0	20,4	121
	13,3	63,7	59,0	21,2	132
	12,4	65,5	60,8	22,1	143
	11,7	67,4	63,0	22,8	154
	11,2	69,0	65,0	23,3	165
	10,7	70,0	66,5	23,8	176
	10,3	71,5	67,5	24,2	187
	9,8	73,0	68,0	24,7	198
	9,6	75,0	71,0	24,9	209
	9,2	76,5	72,0	25,3	220
	9,0	78,5	74,0	25,5	231
	8,5	80,0	76,0	26,0	242
	8,3	82,0	78,0	26,2	253
	8,1	83,0	80,0	26,4	264
	7,9	83,5	81,5	26,6	275
Высота падения = 2 м					
	Высота цилиндра	Сжатие		Энергия бабы	
	мм	мм		кг.м	
	34,5	—		—	
	29,5	5,0		22	
	25,1	9,4		44	
	21,8	12,7		66	
	18,8	15,7		88	
	16,6	17,9		110	
	14,8	19,7		132	
	14,3	20,2		154	
	12,2	22,3		176	
	11,1	23,4		198	
	10,2	24,3		220	
	9,4	25,1		242	
	8,9	25,6		264	
	8,2	26,3		286	
	7,8	26,7		308	

Таблица 15 С.

Опыты над повторными ударами.

(Вес бабы 11 кг).

Характеристика образца	В ы с о т а п а д е н и я = 3 м		
	Высота цилиндра	Сжатие	Энергия бабы
Одинаковые свинцовые цилиндры высотой 34,5 и диаметром 38,4. (Данные взяты средние из двух или трех опытов).	мм	мм	кг.м
	34,5	—	—
	28,1	6,4	33
	22,7	11,8	66
	18,8	15,7	99
	16,0	18,5	132
	13,8	20,7	165
	12,2	22,3	198
	10,6	23,9	231
	9,5	25,0	264
	8,7	25,8	297
	7,8	26,7	330
	7,3	27,2	363
Высота падения = 6 м			
	34,5	—	—
	23,7	10,8	66
	17,1	17,4	132
	13,9	20,6	198
	10,2	24,3	264
	8,4	26,1	330
	7,3	27,2	396
	6,5	27,9	462
Высота падения = 8 м			
	34,5	—	—
	22,7	12,8	88
	14,9	19,6	176
	10,8	23,7	264
	8,5	26,0	352
	7,3	27,2	440
Элементы отношений энергий при высоте падения в 1 и 8 метров			
Сжатие	W_1	W_8	$\frac{W_8}{W_1}^1)$
12,8	57	88	1,54
16	78	125	1,60
18	95,5	152	1,59
20	117	184	1,58
24	182	278	1,52
26	244	355	1,46

¹⁾ W_1 — Энергия бабы при высоте падения 1 м. W_8 — Энергия бабы при высоте падения 8 м.

П р и м е ч а н и е.

Последовательные диаметры цилиндров после отдельных ударов даны только для высоты падения в 1 м.

Деформации при других высотах падения совершенно аналогичны. Эти деформации происходят с замечательной относительной равномерностью.

При сжатии под прессом цилиндр значительно больше расширяется против верхнего подвижного штампа. Получающаяся при этом деформация более резкая, нежели при ударах бабой, если не поворачивать цилиндра, чтобы восстановить насколько возможно его симметричность. При этих опытах цилиндры, подвергшиеся сильным сжатиям, получали овальное сечение.

Эти кривые резко выявляют влияние скорости удара, совершенно так же, как опыты сжатия на испытательной машине.

Сопротивление металла вследствие его инерции точно так же возрастает при увеличении скорости.

Мы приводим в таблице 15 изменения отношений энергий при падениях от 1 до 8 метров. Различные значения $\frac{W_8}{W_1}$, нанесенные на оси ординат, дают кривую L параболической формы, максимальная ордината которой близка к абсциссе, соответствующей сжатию, равному половине высоты цилиндра.

Таким образом, при этом сжатии отношение коэффициентов полезного действия бабы, падающей с высоты в 8 метров, и бабы, падающей с высоты в 1 метр, достигает минимума.

Если рассматривать сжатия, соответствующие первому удару бабы, падающей с высоты в 1, 2, 3, 6 и 8 метров, то получаются следующие приводимые ниже отношения энергий $\frac{W_p}{W_m}$.

Высота падения	1 м	2 м	3 м	6 м	8 м
Энергия W_m к.м	11	22	33	66	88
Энергия W_p к.м	2,8	5,8	9	18	24
Отношение $\frac{W_p}{W_m}$	0,254	0,263	0,273	0,272	0,273
Сжатие м.м	3,2	5,0	6,4	10,8	12,8

Кривая K изображает изменения отношений $\frac{W_p}{W_m}$.

Эта кривая, очевидно, проходит через начала кривых, соответствующих отношениям:

$$\frac{W_p}{W_1} \text{ и } \frac{W_p}{W_8}.$$

Можно видеть, что отношение $\frac{W_p}{W_m}$ имеет почти постоянное значение, и если оно стремится возрастать вначале, при сжатиях, трудно поддающихся измерению, то в дальнейшем оно приближается к отношению $\frac{W_p}{W_8}$ и кривая K принимает характер, который при наличии данных для ее продолжения выразился бы в постоянстве ординат. Постоянство ординат различных кривых I, J, K в их конечных частях является следствием их гиперболической формы с общей асимптотой, которая соответствует кривым энергии. Кривая энергии прессы выведена по кривой давлений, абсциссы которой представляют сжатия, а ординаты — соответствующие усилия.

Элементы этих кривых приведены также в таблице 15, где, кроме того, указаны давления на квадратный миллиметр опорного основания пробного цилиндра (кривая H).

Можно видеть, что начальное давление достигает 0,69 кг/мм² при сжатии в 1 мм, поднимается до 5,5 кг/мм² при сжатии в 30,5 мм. Кривая H обозначает изменения этого давления. Мы указали также отношения $\frac{W_p}{W_1}$ и $\frac{W_p}{W_8}$ энергий прессы и молота при высоте падения бабы в 1 и 8 метров. Кривые I и J изображают изменения каждого из них. Можно заметить, что отношение $\frac{W_p}{W_1}$ несколько повышается до сжатия

в 11 мм, затем возрастание идет медленнее и проходит через максимум при сжатии в 22,5 мм, после чего уменьшается.

Отношение $\frac{W_p}{W_8}$ в пределах опыта величина почти постоянная с очень малым значением, равным 0,28.

Таким образом, отношения энергий той же самой бабы при различных скоростях падения, при повторных или отдельных ударах стремятся к постоянным значениям, тем меньшим, чем больше скорость, относя их к общей единице, а именно к энергии, затрачиваемой пресом. Это значит, что коэффициент полезного действия бабы, действующей на мягкий металл, при одной и той же наковальне, тем больше, чем меньше скорость.

Поэтому на практике предпочитают при горячей ковке металла пользоваться молотами простого действия с малой скоростью удара, а не молотами двойного действия с большой скоростью удара.

По той же причине для увеличения мощности молота предпочитают увеличивать вес бабы, а не высоту падения.

Опыты над повторными ударами. Влияние веса наковальни.

Опыты над ударами бабой в 30 кг производились для выяснения влияния изменений веса или массы бабы при неизменной массе наковальни. Наковальня была та же, что при работе бабой в 11 кг. Цилиндры также были одинаковы.

В таблице 16 приведены результаты этих опытов, произведенных при высоте падения в 1 и в 8 метров.

Падения в 1 метр дают кривую M (рис. 80), пересекающую кривые B , C бабы в 11 кг; это показывает, что в этих точках можно безразлично применять как бабу в 11 кг, так и бабу в 30 кг.

Ординаты кривой M возрастают быстрее ординат кривых A , B , C , D и E . Кривая M довольно близкая к кривой A при первых деформациях удаляется от нее и приближается при дальнейших сжатиях к кривым D и E . При сжатиях от 15 и до 25 мм кривая M показывает, что энергия бабы в 30 кг при высоте падения в 1 м (30 кгм), в условиях производившихся опытов, эквивалентна энергии бабы в 11 кг при высоте падения в 2,5 м (27,5 кгм, отношение $\frac{30}{27,5} = 1,1$).

Можно заметить, что кривая M удаляется довольно быстро от кривой A и, следовательно, при мягком металле невыгодно пользоваться тяжелыми бабами, нанося ими небольшое количество ударов, а лучше действовать более легкой бабой, дающей большее количество ударов. При одной и той же скорости падения удар зависит от массы наковальни. Так как отношение массы каждой бабы к массе наковальни больше при тяжелой бабе, нежели при легкой, то и полезное действие меньше при первом отношении, чем при втором.

Невозможно отделить влияния веса наковальни или ее массы, с одной стороны, от влияния веса или массы грунта—с другой, и дать численное значение для каждого. Явления удара и условия устойчивости фундаментов слишком разнообразны и весьма трудно поддаются анализу.

Отклонения значения энергии проявляются еще сильнее при бабе весом в 30 кг и высоте падения в 8 метров, как то видно по кривой N , значительно удаляющейся от кривой E бабы в 11 кг и высоте падения так же в 8 метров.

Опыты над повторными ударами.
(Вес бабы 30 кг).

Таблица 16.

Характеристика образца	Высота падения = 1 м						
	Последовательная высота цилиндра	Диаметр на середине высоты	Средний диаметр основания	Сжатие	Энергия бабы W_m	Энергия пресса W_p	Отношение $\frac{W_p}{W_m}$
Одинаковые связочные опытные цилиндры высотой — 34,5 мм и диаметром 38,4 мм.	мм	мм	мм	мм	кг.м	кг.м	
	34,5	38,4	—	—	—	—	—
	27,6	44,5	41,0	6,9	30	10	0,333
	22,6	48,0	44,1	11,9	60	22	0,367
	19,0	54,2	47,5	15,5	90	32	0,356
	16,3	58,1	51,9	18,2	120	43	0,358
	14,3	61,4	56,8	20,2	150	53	0,354
	12,0	67,1	62,0	22,5	180	68	0,377
	10,7	70,0	66,8	23,8	210	79	0,377
	10,1	73,0	70,0	24,4	240	84	0,352
	9,2	76,5	73,0	25,3	270	93	0,345
	8,3	82,5	75,5	26,2	300	102	0,341
	7,9	84,5	81,0	26,6	330	107	0,325
	7,5	86,0	83,2	27,0	360	115	0,320
	7,1	90,5	86,9	27,4	390	122	0,314
	6,7	92,0	89,0	27,8	420	130	0,310
	6,4	95,0	92,5	28,1	450	134	0,298
	6,1	97,5	95,0	28,4	480	138	0,288
	5,9	99,5	—	28,6	510	142	0,278
	5,7	102,0	—	28,8	540	149	0,276
	5,5	104,0	—	29,0	570	153	0,268
	5,3	105,0	—	29,2	600	156	0,260
	5,1	108,0	—	29,4	630	162	0,257
	4,9	109,0	—	29,6	660	170	0,258
Высота падения = 8 м							
Одинаковые связочные цилиндры, высотой — 34,5 мм и диаметром — 38,4 мм.	Последовательная высота цилиндра	Сжатие		Энергия бабы W_m	Энергия пресса W_p	Отношение $\frac{W_p}{W_m}$	
	кг	мм		кг.м	кг.м		
	34,5	—		—	—	—	
	13,6	20,9		240	57	0,248	
	8,0	26,5		480	106	0,222	
	5,3	29,2		720	156	0,217	

Тем не менее между кривыми A и M для падения в 1 м и кривыми E и N , соответствующими падению в 8 м, относительные отклонения мало отличаются друг от друга.

Это показывает, что как при малых, так и при больших скоростях двух баб различного веса, масса наковальни и фундамента оказывают почти одинаковое влияние. Вследствие этого кривые M и N только приподняты в направлении ординат, при чем разность ординат кривых A и E приблизительно равна разности ординат кривых M и N .

Рассматривая расхождение кривых A и M , видно, какое важное значение получает опорная масса поковки, наковальни и ее фундамента, упругие перемещения которых и вибрации поглощают часть энергии тем большую, чем тяжелее баба.

Отсюда получается вывод: 1) необходимо доводить до минимума упругие перемещения наковальни, чтобы не вызвать поломок частей молота с падающей бабой, 2) коэффициент полезного действия увеличивается вместе с массой наковальни и фундаментов и 3) коэффициент полезного действия всегда больше при малой скорости бабы, когда силы инерции ударяемых масс оказывают лишь незначительное влияние, когда вибрации мало чувствительны и когда действие бабы приближается к действию прессы.

В таблице 16 можно видеть отношения энергии прессы к энергии бабы весом в 30 кг.

Этим отношениям соответствуют кривые $\frac{F}{M}$ и $\frac{F}{N}$. Ординаты первой возрастают и затем сохраняют постоянное значение до сжатия в 20 мм. После этого они снова возрастают и затем довольно быстро понижаются, стремясь приблизиться к соответствующим значениям нижних кривых того же типа. Кривая $\frac{F}{N}$ понижается с самого начала и также стремится к значениям соответствующих ординат предыдущих кривых.

Кривая, проходящая через начала кривых A, B, C, D, E , представляет изменения затрачиваемой энергии при действии на отдельные, одинаковые цилиндры и при постепенном увеличении высоты падения. Асимптотой ее являются также крайние ординаты. Кривая проходит через начало координат.

Кривая также показывает, что для одного и того же сжатия необходима большая затрата энергии при одном ударе со значительной высоты, нежели при повторных ударах с меньшей высоты. Таким образом, если сжатие в 12,8 мм производится одним ударом бабы в 11 кг, падающей с высоты в 8 метров, т.е. развивающей 88 кгм энергии, то при повторных ударах требуются следующие количества энергии:

при падении с высоты 6 метров требуется	82 кгм
" " " 3 " "	74 "
" " " 2 " "	67 "
" " " 1 " "	59 "

При прессовании требуется только 26 " кг.м.

При высоте падения в 8 метров, соответствующей наибольшей скорости, имеем:

$$\frac{\text{энергия бабы}}{\text{энергия прессы}} = \frac{88}{26} = 3,3.$$

При высоте в 1 метр

$$\frac{W_m}{W_p} = \frac{59}{26} = 2,28.$$

Опыты над прессованием и повторными ударами по латуни.

Эти опыты производились с вырезанными из прута латунными цилиндрами диаметром и высотой в 20 мм, при температуре 15°, при чем металл не подвергался отжигу.

Было произведено три серии ударов бабой весом 11 кг при высоте падения в 1, 4 и 8 метров.

Три других серии опытов производились с бабой, весом 30 кг, падающей с высоты в 1, 4 и 8 метров.

Вместе с тем были произведены три опыта под прессом при небольшой, почти постоянной скорости. Эти опыты служили основанием для установления единиц изменений давлений и работы, имевших место при ударных испытаниях.

Результаты опытов даны в таблице 17.

Заметим, что в одном из опытов под прессом при давлении в 48 000 кг латунный цилиндр внезапно лопнул, подобно чугунному цилиндру.

Что же касается двух других опытных цилиндров, то, так как пресс не мог развивать усилие свыше 50 тонн, их оказалось невозможным сжать более, чем на 11 миллиметров.

Диаграмма (рис. 81) показывает, что кривая А давлений состоит из прямолинейной части, соответствующей так называемому упругому периоду. Затем кривая отклоняется к оси абсцисс, имея асимптотой ординату соответствующую сжатию в 20 мм. Эта ордината является также асимптотой для всех кривых энергии.

Кривая В изображает энергию пресса.

Кривые С, D, E соответствуют энергии бабы весом в 11 кг при высоте падения в 1, 4 и 8 метров.

Можно заметить, что эти кривые сливаются, т.е. совпадают, у своего начала и только немного расходятся в пределах опытов. Это указывает, что при таком металле, как латунь, обладающем некоторой упругостью и довольно большим сопротивлением сжатию, полезное действие мало изменяется при одном и том же весе бабы в 11 кг.

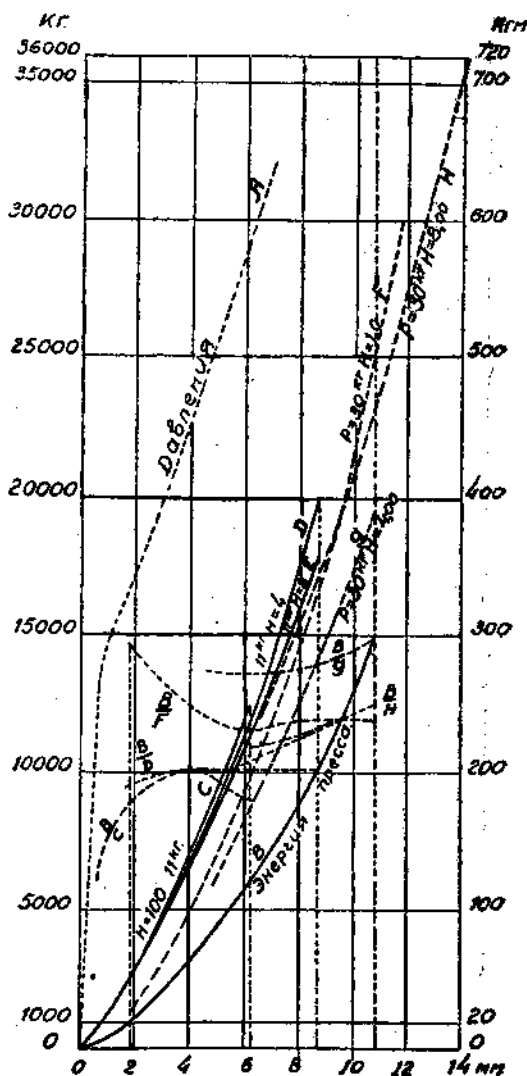


Рис. 81.

Таблица 17 А.

Опыты над прессованием и повторными ударами по латунным цилиндрам.

Характеристика образца	П р е с с о в а н и е			
	Последовательная высота цилиндра	Сжатие	Давление	Расчитанная энергия
	<i>мм</i>	<i>мм</i>	<i>кг</i>	<i>кг.м</i>
Латунные опытные цилиндры:	19,75	0,25	5 500	0,6
Высота = 20 <i>мм</i> .	19,5	0,5	10 100	2,5
Диаметр = 20 <i>мм</i> .	19	1	15 200	8,5
	18	2	16 800	24,5
	17	3	19 700	44,0
	16	4	22 700	63,6
	15	5	25 600	87,7
	14	6	28 700	114,7
	13	7	31 900	145,0
	12	8	37 700	179,0
	11	9	42 300	219,0
	10	10	46 000	264,0
	9,2 (1)	10,8	50 000	302,0

П р и м е ч а н и я.

Окончательный опорный диаметр 28 *мм*.Окончательная опорная поверхность 616 *мм*².Давление на квадратный миллиметр 84 *кг/мм*².Давление на квадратный миллиметр при сжатии от 1 до 2 *мм* приблизительно $P = 50$ *кг*, давление в начале опыта около 20 *кг/мм*².

Опыты над прессованием и повторными ударами по латунным цилиндрам.

Характеристика образца	Вес бабы = 11 кг				
	Последовательная высота цилиндра	Сжатие	Энергия бабы W_m	Энергия прессы W_p	Отношение $\frac{W_p}{W_m}$
Латунные опытные цилиндры: Высота = 20 мм. Диаметр = 20 мм. Вес наковальни: 140 кг. Действие упругости было настолько сильно, что баба подскакивала.	мм	мм	кг.м	кг.м	
	Высота падения = 1 м				
	20,0	—	—	—	—
	19,5	0,5	11	2,5	0,227
	19,0	1	22	8,5	0,378
	18,6	1,4	33	14	0,425
	18,3	1,7	44	19	0,430
	18,0	2	55	24,5	0,445
	17,7	2,3	66	28	0,424
	17,3	2,6	77	37	0,480
	17,1	2,9	88	43	0,487
	16,8	3,2	99	49	0,494
	16,5	3,5	110	54	0,494
	16,2	3,8	121	61	0,505
	16,0	4	132	63,6	0,484
	15,8	4,2	143	67	0,468
	15,6	4,4	154	72	0,468
	15,3	4,7	165	78	0,474
	15,1	4,9	176	83	0,473
	14,9	5,1	187	87	0,466
	14,7	5,3	198	90	0,456
	14,5	5,5	209	97	0,465
	14,3	5,7	220	103	0,460
	14,1	5,9	231	108	0,460
	13,9	6,1	242	115	0,475
	13,8	6,2	253	117	0,460
	13,7	6,3	264	119	0,450
	Высота падения = 4 м				
	18,2	1,8	44	21	0,476
	17	2,0	88	44	0,500
	15,8	4,2	132	67	0,509
	14,8	5,2	176	88	0,500
	14,1	5,9	220	108	0,492
	13,3	6,7	264	137	0,518
	12,6	7,4	308	157	0,509
	12,0	8,0	352	179	0,509
	11,4	8,6	396	202	0,510
	Высота падения = 8 м				
	20,0	—	—	—	—
	17,0	3,0	88	44	0,500
	14,8	5,2	176	88	0,500
	13,1	6,9	264	141	0,532
	11,3	8,7	352	205	0,582

Таблица 17 С.

Опыты над прессованием и повторными ударами по латунным цилиндрам.

Характеристика образца	Вес бабы = 30 кг				
	Последовательная высота цилиндра	Сжатие	Энергия бабы W_m	Энергия прессы W_p	Отношение $\frac{W_p}{W_m}$
Латунные опытные цилиндры: Высота = 20 мм. Диаметр = 20 мм. Вес наковальни: 140 кг.	мм	мм	кг.м	кг.м	
	Высота падения = 1 м				
	20	—	—	—	—
	18,1	1,9	30	22	0,733
	17,1	2,9	60	43	0,716
	16,3	3,7	90	58	0,643
	15,5	4,5	120	74	0,618
	14,8	5,2	150	88	0,588
	14,3	5,7	180	103	0,572
	13,6	6,4	210	125	0,595
	13,1	6,9	240	141	0,588
	12,5	7,5	270	160	0,582
	11,9	8,1	300	180	0,600
	11,5	8,5	330	196	0,596
	11,0	9,0	360	219	0,608
	10,6	9,4	390	230	0,588
	10,2	9,8	420	260	0,618
	9,8	10,2	450	272	0,603
	9,5	10,5	480	280	0,600
	9,1	10,9	510	—	—
	8,8	11,2	540	—	—
	8,5	11,5	570	—	—
	8,2	11,8	600	—	—
	Высота падения = 4 м				
	20	—	—	—	—
	15,2	4,8	120	80	0,680
	12,4	7,6	240	164	0,685
	9,8	10,2	360	260	0,723
	9,2	10,8	400	302	0,756
	Высота падения = 8 м				
	20	—	—	—	—
	13,4	6,6	240	130	0,54
	9,2	10,8	480 (1)	302	0,63
	5,9	14,1	720 (2)	—	—
Температура цилиндра достигла 100°.					
Цилиндр лопнул на 6 кусков.					
Развитая ударами температура достигла 150°.					

и одинаковых опытных цилиндрах, даже в том случае, если скорость изменится довольно значительно, а именно от 4,50 до 12,0 метров.

Тем не менее можно констатировать выгодность применения молота с большей скоростью падения бабы перед молотом с малой скоростью падения. Закон, как видно, прямо противоположен результатам опытов с таким мягким металлом, как свинец.

Этот закон вполне согласуется с выработанными практикой приемамиковки стали, — металла, обладающего высокой упругостью и большим сопротивлением: сталь предпочитают ковать под молотами, с большой скоростью падения и легкими бабами. Закон этот одинаково правилен и при холодной ковке меди под механическими молотами с малой массой бабы и большой скоростью падения.

Кривые F , G , H относятся к бабам весом в 30 кг, падающим с высоты в 1, 4 и 8 м при одной и той же наковальне весом 140 кг.

Можно заметить, что: 1) кривая C повторных ударов с высоты 4 метра в данном случае наиболее благоприятна и что она значительно отклоняется от двух других уже с самого начала; 2) высоты падения в 1 и 8 м приблизительно эквивалентны в пределах опытов; 3) кривая H пересекает кривую E , показывая тем, что при том же самом сжатии от 9 до 10 мм, 15 ударов бабы, падающей с высоты в 1 м, почти эквивалентны двум ударам той же бабы при высоте падения в 8 метров.

Наибольшая скорость приобретает вновь свое преимущество по мере увеличения сжатия опытного цилиндра, когда сопротивление сильно возрастает и когда удар вызывает давления, превышающие 50 000 кг.

При сжатиях свыше 12 и 14 мм результат удара был аналогичен действию прессы, т.-е. цилиндр трескался по одной или двум образующим и затем лопался. Производить опыты дальше, для достижения еще больших сжатий, поэтому не было возможности.

Опыты с бабой весом в 30 кг показали, что для достижения максимального полезного действия не следует отклоняться от высоты падения в 4 метра.

При таком металле, как латунь, т.-е. металле, обладающем уже значительным сопротивлением, надо пользоваться бабой достаточной массы и умеренными скоростями.

На рисунке 81 дана кривая отношений $\frac{B}{G}$ бабы в 30 кг при высоте падения в 4 метра. Средний коэффициент полезного действия равный 0,70, сравнительно очень высокий, что является следствием малого расхождения обеих кривых B и G .

Таким образом, можно констатировать, что коэффициент полезного действияковки под молотом может быть очень близок к коэффициенту полезного действия прессы при обработке металлов с большим сопротивлением.

Практики до сих пор пользуются этим правилом: применяют пресс для первой проковки изделия, сжимая металл под прессом при высокой температуре, и затем заканчивают ковку при более низкой температуре под молотом.

Различные кривые $\frac{B}{C}$, $\frac{B}{D}$, $\frac{B}{E}$ и $\frac{B}{H}$, $\frac{B}{G}$, $\frac{B}{F}$ отношений $\frac{W_p}{W_m}$ имеют различный ход, как-то можно заметить на диаграмме или сравнивая между собой цифровые табличные значения. Рассматривая с одной стороны кривые, можно видеть, что они проходят через начала кривых C , D , E и через начала кривых F , G , H (на рис. не вычерчены).

Это значит, что бронзу в пределах произведенных опытов, можно, безразлично, ковать повторными ударами или ударами возрастающей силы.

Скажем еще, что при весе бабы в 11 кг и высоте падения в 1 м опытные цилиндры получались значительно большего диаметра у оснований, нежели в середине (рис. 82); таким образом действие бабы оказывалось местным. При всех остальных опытах диаметр был несколько увеличен в середине (рис. 83). Действие бабы в 11 кг при высоте падения 1 м близко к тому, которое дает одинаковое увеличение диаметра по всей высоте цилиндра, если только в подобных опытах можно соблюсти это условие.

Так как опыт под прессом, т.е. при небольшой скорости, вызывает с самого начала вздутие в средней части цилиндра, то отсюда следует, что указанное выше явление в некоторой степени надо приписать влиянию малой скорости, а также недостаточности веса, т.е. недостаточности живой силы удара; удар слишком слаб и оказывает более продолжительное действие, нежели в других случаях. Но как только, при том же весе бабы, скорость возрастает, развивается большая живая сила и получается деформация, такая же как под прессом, т.е. деформация преобладает в средней части. Такое же явление происходит и при свинце¹⁾, так как баба с небольшой массой придает цилиндру у основания, по которому наносится удар, диаметр больший, нежели в средней части; при меньшей же скорости удара и при меньшей его силе, чем в первом случае, получается большая деформация на середине.

Можно уже констатировать, что при ударах деформации могут быть подобными и совершенно аналогичными с деформациями, происходящими при медленном давлении.

Опыты над прессованием и повторными ударами по железу.

Результаты опытов с железными цилиндрами приведены в таблице 18 и изображены графически на диаграмме (рис. 84).

При максимальном давлении пресса в 50 000 кг цилиндр высотой в 20 мм сжимался до высоты 8,5 мм, при чем окружность его была покрыта многочисленными трещинами и довольно равномерными разрывами, не достигающими, насколько можно видеть глазом, опорных поверхностей (рис. 85).

Под ударами бабы в 11 кг при высоте падения в 1 м опытный цилиндр принимал форму, изображенную на рис. 86. Основания расширялись довольно сильно, после чего образовывалась одна или несколько трещин, заставлявших прекращать опыты.

При бабе в 30 кг и высоте падения 1 м деформации распределяются равномернее, нежели в других случаях. Удары при падении бабы с высоты в 4 метра вызвали геликоидальные деформации с многочисленными трещинами (рис. 87). Падение бабы в 11 кг с высоты в 4 и 8 м вызвали вздутие цилиндра. Таким образом лучший удар получался при падении бабы с высоты в 1 метр.

Что касается коэффициента полезного действия, то кривая показывает невыгодность легкой бабы при малой высоте падения. Кривая С

¹⁾ При прокатке констатируют аналогичные явления, происходящие или от недостаточности давления, или вследствие того, что толщина изделия слишком велика.

значительно удаляется от кривых *D* и *E*, соответствующих высотам падения в 4 и 8 м. Последние кривые разнятся, начиная с самого начала, тогда как для латуни они значительно ближе друг к другу. Кривые *D* и *F* показывают, что баба весом 11 кг, падая с высоты в 4 метра, дает результаты одинаковые с бабой в 30 кг, падающей с высоты в 1 м, но этот последний случай выгоднее других для сжатий свыше 7—8 мм.

В этом случае также надо отдать предпочтение бабе большего веса. В противоположность тому, что дают опыты с латунью, для которой самая выгодная скорость соответствует высоте падения в 4 м,

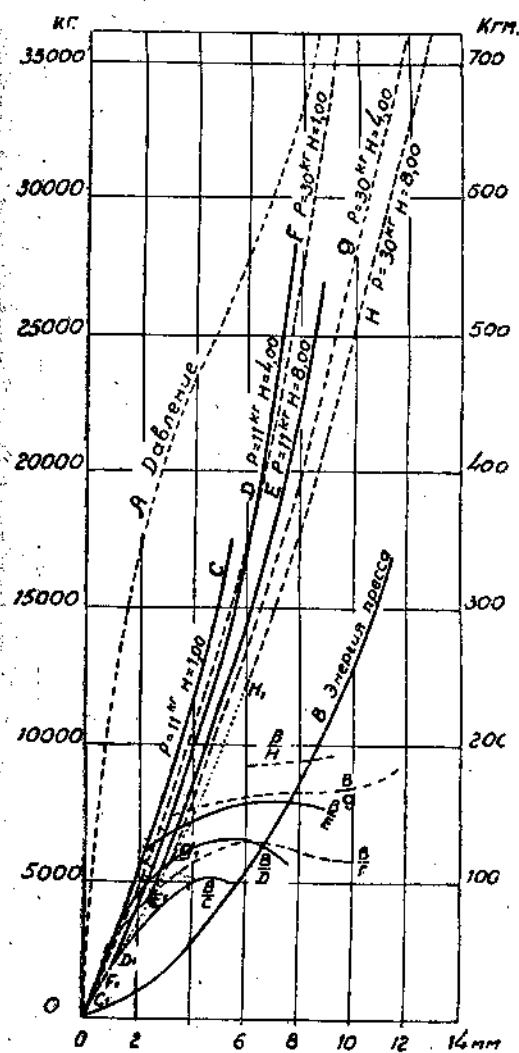


Рис. 84.

Цилиндр в конце опыта под прессом.

Высота падения бабы 1,00 м.

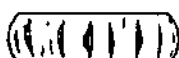


Рис. 85.

Рис. 86.

Цилиндр в конце опыта под бабой в 30 кг. Высота падения 4,00 м.



Рис. 87.

наивыгоднейшая высота падения для железа равна 8 м (наибольшее полезное действие). Это обстоятельство, по всей вероятности, надо приписать большей упругости железа.

При сравнении кривых для латуни и железа любопытно заметить, что опытные цилиндры при сжатии дают почти те же результаты. Латунь потребовала несколько больших усилий. Наоборот, опыты с повторными ударами выявляют значительно большее сопротивление железа по сравнению с сопротивлением латуни. Все относительные значения для железа выше таких же значений для латуни.

Таблица 18 А.

Опыты над прессованием и повторными ударами по железу.

Характеристика образца	П р е с с о в а н и е				
	Последовательная высота цилиндра	Сжатие	Давление	Расчитанная энергия	
	мм	мм	кг	кг.м	
Железные опытные цилиндры:	20	—	—	—	
Высота = 20 мм.	19,5	0,5	8 300	1,85	
Диаметр = 20 мм.	19	1	11 800	5,6	
Продолжительность опыта — 35 мин.	18	2	17 200	19,5	
	17	3	20 600	39,8	
	18	4	23 000	62,0	
	15	5	25 200	85,4	
	14	6	27 500	112,6	
	13	7	30 200	142	
	12	8	33 800	174	
	11	9	37 800	208	
	10	10	40 800	254	
	9	11	45 600	298	
	8,5	11,5	50 000	340	
В е с б а б ы = 11 кг					
	Последовательная высота цилиндра	Сжатие	Энергия бабы W_m	Энергия прессы W_p	Отношение $\frac{W_p}{W_m}$
	мм	мм	кг.м	кг.м	
Высота падения = 1 м					
Железные опытные цилиндры:	20,0	—	—	—	—
Высота = 20 мм.	19,8	0,2	11	0,4	0,0364
Диаметр = 20 мм.	19,6	0,4	22	1,4	0,0635
Вес наковальни: 140 кг.	19,4	0,6	33	2,4	0,0727
	19,2	0,8	44	4,4	0,100
	19,0	1,0	55	5,6	0,102
	18,8	1,2	66	7	0,106
	18,6	1,4	77	9	0,117
	18,4	1,6	88	11,5	0,130
	18,2	1,8	99	14	0,141
	18,1	1,9	101	17	0,167
	18,0	2,0	112	19,5	0,174
	17,8	2,2	121	22	0,182
	17,7	2,3	132	25	0,189
	17,5	2,5	143	28	0,195
	17,3	2,7	154	32	0,207
	17,1	2,9	165	36	0,217
	16,9	3,1	176	41	0,233
	16,1	3,3	187	45	0,241
	16,4	3,4	198	49	0,245
	16,5	3,5	209	53,5	0,256

Таблица 18 В.

Опыты над прессованием и повторными ударами по железу.

Характеристика образца	В е с б а б ы = 11 кг				
	После- дователь- ная вы- сота ци- линдра	Сжатие	Энергия бабы W_m	Энергия пресса W_p	Отно- шение $\frac{W_p}{W_m}$
	мм	мм	кг.м	кг.м	
Высота падения = 1 м					
Железные опытные цилиндры:	16,3	3,7	220	57	0,257
	16,7	3,9	231	59,5	0,257
Высота = 20 мм.	16,0	4,0	242	62	0,257
	15,8	4,2	253	64,5	0,255
Диаметр = 20 мм.	15,7	4,3	264	67	0,254
	15,6	4,4	275	69	0,254
Вес наковальни: 140 кг.	15,5	4,5	286	73	0,256
	15,3	4,7	297	77	0,260
	15,2	4,8	388	81	0,263
	15,1	4,9	319	83	0,261
	15,0	5,0	330	85,4	0,260
	14,9	5,1	341	86,5	0,254
	14,8	5,2	352	88	0,250
Высота падения = 4 м					
	20	—	—	—	—
	18,8	1,2	44	7	0,159
	17,8	2,2	88	22	0,249
	17,1	2,9	132	36	0,273
	16,3	3,7	176	55	0,310
	15,6	4,4	220	69	0,314
	14,8	5,2	264	88	0,363
	14,3	5,7	308	106	0,334
	13,8	6,2	352	114	0,323
	13,5	6,5	396	126	0,318
	13,2	6,8	440	138	0,314
	12,9	7,1	484	144	0,298
	12,5	7,5	528	158	0,298
	12,2	7,8	572	170	0,297
Высота падения = 8 м					
	20	—	—	—	—
	17,5	2,5	88	28	0,318
	16	4	176	62	0,352
	14,3	5,7	264	106	0,400
	13	7	352	142	0,404
	12	8	440	176	0,400
	11,1	8,9	528	208	0,395

Таблица 18 С.

Опыты над прессованием и повторными ударами по железу.

Характеристика образца	Вес бабы = 30 кг				
	Последовательная высота цилиндра	Сжатие	Энергия бабы W_m	Энергия прессы W_p	Отношение $\frac{W_p}{W_m}$
	мм	мм	кг.м	кг.м	
Высота падения = 1 м					
Железные опытные цилиндры: Высота = 20 мм. Диаметр = 20 мм. Вес наковальни: 140 кг.	20	—	—	—	—
	19,3	0,7	30	3,4	0,116
	18,7	1,3	60	8	0,133
	18,2	1,8	90	14	0,156
	17,6	2,4	120	26	0,217
	17	3	150	39,8	0,265
	16,5	3,5	180	53,5	0,297
	15,9	4,1	210	63	0,300
	15,4	4,6	240	75	0,313
	15	5	270	85,4	0,317
	14,6	5,4	300	97	0,324
	14,2	5,8	330	108	0,327
	13,8	6,2	360	116	0,324
	13,4	6,6	390	128	0,327
	13,1	6,9	420	140	0,333
	12,8	7,2	450	145	0,323
	12,6	7,4	480	150	0,313
	12,3	7,7	510	162	0,317
	12,4	7,9	540	170	0,315
	11,8	8,2	570	174	0,306
	11,6	8,4	600	186	0,310
	11,4	8,6	630	194	0,308
	11,2	8,8	660	205	0,311
	11	9	690	208	0,303
	10,8	9,2	720	214	0,298
	10,6	9,4	750	226	0,302

Таблица 18 С.

Опыты над прессованием и повторными ударами по железу.

Характеристика образца	Вес бабы = 30 кг				
	После- датель- ная вы- сота ци- линдра	Сжатие	Энергия бабы W_m	Энергия пресса W_p	Отно- шение $\frac{W_p}{W_m}$
Железные опытные цилиндры: Высота = 20 мм. Диаметр = 20 мм. Вес наковальни: 140 кг.	мм	мм	кг.м	кг.м	
	Высота падения = 4 м				
	20	—	—	—	—
	16,7	3,3	120	45	0,375
	14,6	5,4	240	97	0,405
	12,6	7,4	360	150	0,417
	11,2	8,8	480	205	0,427
	9,7	10,3	600	260	0,434
	8,5	11,5	720	340	0,474
	Высота падения = 8 м				
	20	—	—	—	—
	14,5	6	240	112,6	0,47
	10,5	9,5	480	230	0,48
	7,5	12,5	720	—	—

Кривые так же как и отношения $\frac{W_p}{W_m}$ показывают большие расхо-
ждения, которые нельзя объяснить иначе, как значительно большей
упругостью железа, требующего большей затраты энергии, нежели
при ковке латуни.

Для латуни отношение $\frac{W_p}{W_m}$ достигает значения 0,756, для железа
же это отношение не достигает 0,50, откуда отношение энергий для
железа и латуни $\frac{\text{железо}}{\text{латунь}} = \frac{3}{2}$. Таким образом, для холоднойковки
железа потребно энергии в полтора раза больше, чем дляковки латуни.

Эти опыты над железом показывают, что дляковки упругих
металлов с большим сопротивлением и вязкостью требуются бабы зна-
чительного веса и большие скорости падения, т.-е. необходима боль-
шая живая сила.

Такими именно бабами приходится пользоваться при ковке круп-
ных стальных болванок.

Кроме того, можно видеть, что при непрерывных ударах неболь-
шого молота по пружине, не переходящих ее предела упругости, не
происходит каких-либо остающихся деформаций, тогда как при мягком
металле такие удары оказывают свое деформирующее действие.

Нельзя дать общих правилковки под молотом, так как металлы,
с точки зрения упругости и ковкости, а также в зависимости от темпе-
ратурыковки и характера металла, могут составлять целую гамму их.

Заметим еще, что кривые (C, D, E) (F, G, H), проходящие через
начала кривых (C, D, E) (F, G, H), находятся ниже их. Это указывает,
что при холоднойковки железа выгоднее действовать или ударами
с постоянно возрастающей энергией, или, еще лучше, небольшим числом
сильных ударов, нежели повторными ударами одинаковой силы.

Сравнительные опыты над прессованием и повторными ударами по меди.

Так как медь металл очень текучий, очень ковкий и мало упругий, то она дает очень равномерные деформации как при прессовании так и при ударах.

Вследствие малой упругости и такого же сопротивления металла, наименее благоприятные результаты получаются при бабе весом 11 кг и высоте падения в 1 м.

Три кривые F, G, H (рис. 88) для бабы весом 30 кг довольно близки друг к другу и наиболее выгодны.

Отношения $\frac{W_p}{W_m}$ имеют среднее значение равное 0,55 и, таким образом, показывают довольно высокий относительный коэффициент полезного действия. Кривые $\frac{B}{G}$ и $\frac{B}{F}$

показывают, что при упругом металле надо отдавать предпочтение энергичным ударам, а не слабым.

Таким образом, для холоднойковки меди можно одинаково пользоваться довольно тяжелой бабой при достаточно разнообразных скоростях без сколько-нибудь значительного понижения относительного полезного действия.

Таблица 19 А.

Сравнит. опыты над прессован. и повторными ударами по медным цилиндрам.

Характеристика образца	П р е с с о в а н и е		
	Сжатие	Давление	Расчитанная энергия
	мм	кг	кг.м
Медный опытный цилиндр:	0,5	4 600	1,2
Высота = 20 мм.	1	7 500	4,4
Диаметр = 20 мм.	2	10 600	13,6
Сечение = 314 мм ² .	3	12 400	25,1
	4	14 200	38,4
	5	15 800	53,4
	6	17 300	69,9
	7	19 000	88
	8	21 000	108
	9	23 200	130
	10	26 500	155
	11	31 300	183,8
	12	37 300	217,8
	13	45 000	258,4

Рис. 88.

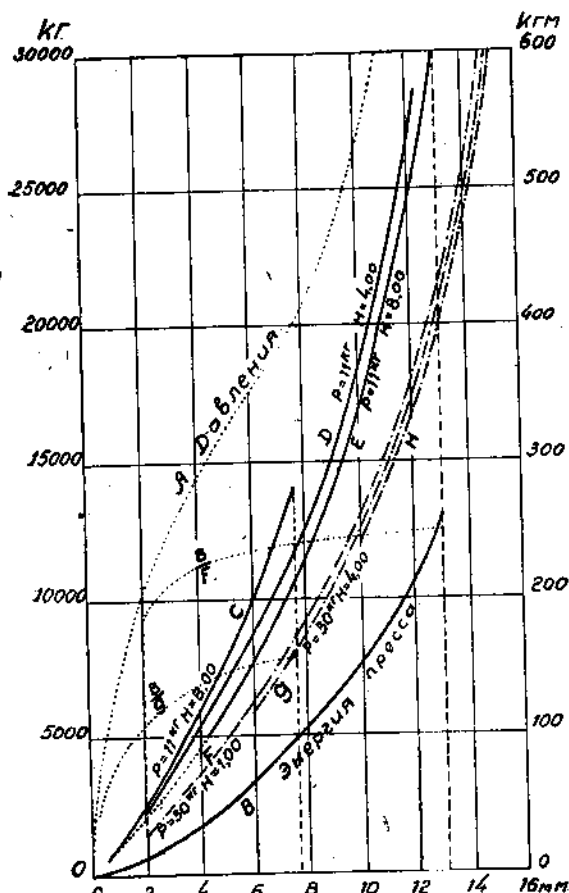


Таблица 19 В.

Сравнительные опыты над прессованием и повторными ударами по медным цилиндрам.

Характеристика образца	Вес бабы = 11 кг			
	Сматис	Энергия бабы W_m	Энергия пресса W_p	Отношение $\frac{W_p}{W_m}$
	мм	кг.м	кг.м	
Медные опытные цилиндры: Высота = 20 мм. Диаметр = 20 мм. Сечение = 314 мм ² .	Высота падения = 1 м			
	0,5	11	1,2	0,108
	0,9	22	4	0,182
	1,3	33	7	0,213
	1,7	44	9,5	0,215
	2,0	55	13,6	0,247
	2,4	66	18	0,273
	2,8	77	22	0,287
	3,3	88	31,5	0,358
	3,6	99	35	0,353
	3,8	110	38	0,345
	4,2	121	40	0,330
	4,5	132	46	0,348
	4,8	143	52	0,364
	5,1	154	54	0,350
	5,4	165	60	0,364
	5,7	176	66	0,375
	6,0	187	69,9	0,373
	6,2	198	74	0,374
	6,4	209	77	0,368
	6,7	220	82	0,374
	6,9	231	84	0,365
	7,1	242	88	0,365
	7,3	253	94	0,372
	7,5	264	98	0,372
	7,7	275	102	0,372
	Высота падения = 4 м			
	2,0	44	13,6	0,308
	3,4	88	30	0,340
	5,0	132	53,4	0,405
	6,2	176	74	0,420
	7,3	220	92	0,420
	8,2	264	112	0,420
	9,0	308	130	0,422
	9,5	352	144	0,410
	10,2	396	162	0,407
	10,8	440	180	0,408
	11,4	484	198	0,408
	11,8	528	214	0,405
	12,2	572	224	0,390
Высота падения = 8 м				
4,3	88	42	0,425	
6,7	176	82	0,467	
8,8	264	128	0,485	
10,0	352	155	0,442	
11,2	440	188		
12,3	528	226		
13,2	616			

Таблица 19 С.

Сравнительные опыты над прессованием и повторными ударами по медным цилиндрам.

Характеристика образца	Вес бабы = 30 кг			
	Сжатие	Энергия бабы W_m	Энергия пресса W_p	Отношение $\frac{W_p}{W_m}$
	мм	кг.м	кг.м	
Медные опытные цилиндры:	Высота падения = 1 м.			
	2	30	13,6	0,455
	3,5	60	32	0,532
Высота = 20 мм.	4,6	90	48	0,533
Диаметр = 20 мм.	5,8	120	68	0,568
	6,8	150	86	0,572
Сечение = 314 мм ² .	7,8	180	106	0,580
	8,7	210	124	0,580
	9,4	240	142	0,582
	10,1	270	160	0,592
	10,8	300	180	0,600
	11,4	330	200	0,605
	11,8	360	216	0,602
	12,3	390	226	0,60
	12,8	420	256	0,61
	13,2	450		
	13,6	480		
	14,0	510		
	14,3	540		
	14,5	570		
	14,7	600		
	Высота падения = 4 м			
	6,0	120	69,9	0,58
	9,8	240	154,0	0,64
	12,0	360	217,8	0,60
	13,8	480		
	14,9	600		
	Высота падения = 8 м			
	10,0	240	155	0,645
	13,9	480		
	16,0	720		

Примечания:

Сопротивление сжатию или давление на квадратный миллиметр при различных сжатиях $P = \frac{4600}{314} = 14$ кг/мм².

Давление на квадратный миллиметр среднего сечения $P = \frac{15800}{418} = 37$ кг/мм².

Давление на квадратный миллиметр среднего сечения $P = \frac{26500}{628} = 42$ кг/мм².

Давление на квадратный миллиметр $P = \frac{45000}{897} = 50$ кг/мм².

Дляковки меди при высокой температуре, когда ковкость ее очень высока, выгоднее пользоваться молотом с небольшой скоростью.

Сравнительные опыты над прессованием и повторными ударами по свинцу.

Для сравнения предыдущих опытов, произведенных с опытными цилиндрами из различных металлов, диаметром и высотой в 20 мм, мы произвели такие же опыты и над свинцом.

Полученные нами результаты одинаковы с результатами опытов с более крупными цилиндрами. Соответствующие цифры приведены в таблице 20 и изображены графически диаграммой (рис. 89).

При ковке металла преимущество остается за самой легкой бабой в 11 кг и при наименьшей высоте падения в 1 метр (кривая С диаграммы) и при среднем значении отношения энергий $\frac{W_p}{W_m}$.

Кривая $J = \frac{B}{C}$ дает изменение отношений $\frac{W_p}{W_m}$

соответственно весу бабы в 11 кг и высоте падения в 1 м.

Наибольшая затрата энергии имеет место при бабе весом 30 кг и высоте падения 8 м.

Диаграмма показывает, что кривые для бабы в 11 кг при высоте падения в 4 м и для бабы весом 30 кг при такой же высоте падения, также довольно близки друг к другу.

Кривая F для бабы весом 30 кг при высоте падения в 1 м дает относительно полезное действие довольно близкое к относительно полезному действию бабы в 11 кг при высоте падения в 1 м.

Заметим еще, что кривая $J = \frac{B}{F}$ отношений $\frac{W_p}{W_m}$ для бабы в 30 кг

при высоте падения в 1 м резко повышается при сжатиях, начиная с 16 мм, тогда как кривая I отношений $\frac{B}{C}$ для бабы в 11 кг при падениях в 1 м при таких сжатиях понижается. Это указывает, что относительно полезное действие при малой толщине поковки больше при ковке тяжелыми бабами.



Рис. 89.

Таблица 20 А.

Сравнительные опыты над прессованием и повторными ударами по свинцовым цилиндрам.

Характеристика образца	П р е с с о в а н и е		
	Сжатие	Давление	Расчитанная энергия
	<i>мм</i>	<i>кг</i>	<i>кгм</i>
Свинцовые опытные цилиндры:	0,5	100	0,025
Высота = 20 мм.	1	260	0,13
Диаметр = 20 мм.	2	380	0,4
Сечение = 314 мм ² .	3	440	0,7
	4	480	1,0
	5	490	1,5
	6	520	2,0
	7	550	2,6
	8	600	3,2
	9	700	3,9
	10	840	4,7
	11	940	5,6
	12	1 300	6,7
	13	1 600	8,1
	14	2 300	10,2
	15	3 400	13
	16	4 900	17,1
	17	9 600	23,8
	17,5	19 200	—
	18	36 000	46,8
	18,5	48 000	67,3

Таблица 20 В.

Сравнительные опыты над прессованием и повторными ударами по свинцовым цилиндрам.

Характеристика образца	Сжатие	Энергия бабы W_m	Энергия пресса W_p	Отношение $\frac{W_p}{W_m}$
Свинцовые опытные цилиндры: Высота = 20 мм. Диаметр = 20 мм. Сечение = 314 мм ² .	мм	кг.м	кг.м	
	Вес бабы = 11 кг			
	Высота падения = 1 м			
	7	11	2,6	0,257
	12	22	6,7	0,305
	14,5	33	11,8	0,357
	15,5	44	15,0	0,342
	16	55	17,1	0,310
	Высота падения = 4 м			
	13,5	44	9	0,205
	16,2	88	19	0,216
	17,4	132	32	0,242
	Высота падения = 8 м			
	15,5	88	15,0	0,170
	18,0	176	46,8	0,266
	Вес бабы = 30 кг			
	Высота падения = 1 м			
	12,0	30	6,7	0,224
	15,5	60	15,0	0,250
	16,7	90	22,5	0,250
	17,5	120	35,0	0,280
	18,1	150	48,0	0,320
	18,5	180	67,3	0,375
	Высота падения = 4 м			
	17,0	120	23,8	0,198
	18,7	240	80,0	0,335
	Высота падения = 8 м			
	18,5	240	67,3	0,281
	19,2	480	—	—

Примечания:

Давление при различных сжатиях.

Давление на квадратный миллиметр сечения . . . $\rho = \frac{100}{314} = 0,32$ кг/мм²Давление на квадратный миллиметр сечения . . . $\rho = \frac{260}{314} = 0,82$ кг/мм²Давление на квадратный миллиметр среднего сечения сплющенного цилиндра $\rho = \frac{490}{418} = 1,17$ кг/мм²Давление на квадратный миллиметр среднего сечения сплющенного цилиндра $\rho = \frac{840}{628} = 1,3$ кг/мм²Давление на квадратный миллиметр среднего сечения сплющенного цилиндра $\rho = \frac{3400}{1256} = 2,7$ кг/мм²Давление на квадратный миллиметр среднего сечения сплющенного цилиндра $\rho = \frac{48000}{4200} = 11$ кг/мм²

Заметим снова, что при свинце повторные удары экономичнее отдельных ударов большой силы, так как кривые повторных ударов проходят выше этих последних.

Мы указали на этой диаграмме изменения давлений на квадратный миллиметр среднего сечения при достаточно большом масштабе ординат. Характер этой кривой имеет много общего с характером кривой полных давлений или усилий пресса.

Для облегчения сравнения эффектов обеих баб, бабы в 30 кг падающей с высоты 8 м и бабы в 11 кг падающей с высоты 1 м,

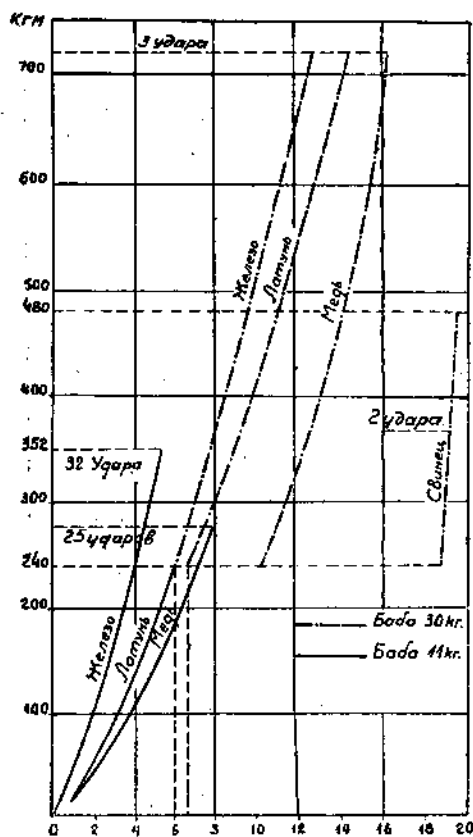


Рис. 90.

действующих повторными ударами в 240 кг·м и 11 кг·м, мы нанесли (рис. 90) кривые энергий этих баб для различных металлов, применявшихся в предыдущих опытах с цилиндрами диаметром и высотой в 20 мм. Видно, что кривые для железа, латуни и меди имеют одинаковый характер и что достаточно только продолжить их до начала координат или до асимптоты, чтобы оценить разность затраты энергий.

Видно, что при ковке железа бабой, развивающей энергию в 240 кг·м, оно сжимается настолько же, насколько и латунь под действием бабы, развивающей энергию в 11 кг·м, и что латунь и медь мало отличаются друг от друга при этих условиях.

Надо обратить особенное внимание на сильное расхождение кривых для свинца и других металлов, указывающее: 1) на большое влияние ковкости металла, облегчающей и ускоряющей работу, 2) на необходимость высокой температуры при ковке металлов с высоким сопротивлением и 3) на необходимостьковки металлов с малым сопротивлением,

подобных свинцу или промежуточных между ним и медью, при определенной температуре, соответствующей их наибольшей ковкости.

Сравнительные опыты над прессованием, ударами с возрастающей энергией и повторными ударами с постоянной энергией по свинцу.

Сравнительные опыты над прессованием и ударами с возрастающей энергией по свинцовым трубкам высотой в 40 мм.—В этих опытах бабы в 4, 12 и 29 кг весом падали последовательно с различных высот на одинаковые свинцовые трубки, при чем каждый удар производился по новому образцу.

Эти опыты требуют, таким образом, большого количества опытных образцов, что заставило нас остановиться на трубчатой форме последних. Образцы отрезались от свинцовой трубы, после чего по-

верхности шлифовались по торцам. По длине образцы различались только на десятые доли миллиметра. Трубчатая форма позволяла также получать большие сжатия.

В таблице 21 приведен результат прессования, продолжавшегося в течение 12 минут, т.-е. со скоростью, позволяющей очень точное измерение сжатий и усилий.

Таблица 21 А.

Сравнительные опыты над прессованием, ударами с возрастающей энергией и ударами с постоянной энергией по свинцовым трубкам.

Свинцовые трубки по свинцовым трубкам.

Характеристика образца	П р е с с о в а н и е		
	Сжатие	Давление	Энергия
	мм	кг	кг.м
Свинцовые трубки:	0,5	190	
	1	430	
Высота = 40 мм.	2	520	0,8
	4	620	1,9
Наружный диаметр = 40 мм.	6	710	2,8
	8	650	3,2
Внутренний диаметр = 30 мм.	10	620	4,0
	14	590	6,0
Продолжительность прессования — 12 мин.	18	540	8,0
	20	550	8,4
	25	550	11,4
	28	850	14,2
	29	1 900	15,9
	30	3 100	18,0
	32	4 900	24,5
	33	9 500	29,0
	34	9 100	28,0
	35	16 200	51,0

Удары с возрастающей энергией

В е с б а б ы = 4 кг

Высота падения	Сжатие	Энергия бабы W_m	Энергия прессы W_p	Отношение $\frac{W_p}{W_m}$	
м	мм	кг.м	кг.м		
Свинцовые трубки:	0,50	1,7	2	0,7	0,350
	1	2,6	4	1,2	0,300
	2	5,2	8	2,3	0,287
Высота = 40 мм.	3	7,0	12	3,0	0,250
	4	8,7	16	3,8	0,238
Наружный диаметр = 40 мм.	5	10,0	20	4,0	0,200
	6	11,2	24	4,2	0,175
Внутренний диаметр = 30 мм.	7	12,1	28	4,5	0,160
	8	13,2	32	5,1	0,159

В е с б а б ы = 12 кг

	0,50	4,6	6	2,0	0,330
	1	8,2	12	3,6	0,300
	2	13,8	24	5,8	0,243
	3	21,3	36	9,0	0,250
	4	25,4	48	11,8	0,246
	5	27,6	60	13,4	0,224
	6	29,2	72	16,5	0,230
	7	30,4	84	19,4	0,230
	8	31,4	96	23,0	0,240

Таблица 21 В.

Сравнительные опыты над прессованием, ударами с возрастающей энергией и ударами с постоянной энергией по свинцовым трубкам.

Характеристика образца	Удары с возрастающей энергией				
	Вес бабы = 29 кг				
	Высота падения	Сжатие	Энергия W_m	Энергия W_p	Отношение $\frac{W_p}{W_m}$
Свинцовые трубки: Высота = 40 мм. Наружный диаметр = 40 мм. Внутренний диаметр = 30 мм.	м	мм	кг.м	кг.м	
	0,50	8,5	14,5	3,7	0,256
	1	14,1	29	6,2	0,214
	2	24,0	58	11	0,190
	3	30,5	87	20	0,330
	4	32,5	116	28	0,244
	5	33,5	145	34	0,234
	6	34,1	174	40	0,230
	7	34,7	203	47	0,230
	8	35,0	232	51	0,221
	П о в т о р н ы е у д а р ы				
	Вес бабы = 4 кг Высота падения = 1 м				
	Сжатие	Энергия W_m	Энергия W_p	Отношение $\frac{W_p}{W_m}$	
	мм	кгм	кгм		
	2,6	4	1,2	0,300	
	6,8	8	2,8	0,350	
	10,5	12	4,1	0,334	
	14,2	16	6,0	0,375	
	18,2	20			
	22,8	24	9,8	0,410	
	26,2	28			
	29,0	32	15,9	0,498	
	30,3	36			
	31,0	40	21,0	0,526	
	31,6	44			
	32,0	48	24,5	0,505	
	32,3	52			
	32,6	56			
	33,0	60	29,0	0,485	
	33,3	64	33,8	0,528	
	33,6	68	34,4	0,503	
	33,8	72			
	34,0	76	38,0	0,500	
	34,2	80			
	34,5	84	44,0	0,524	
	34,7	88			
	34,8	92			
	34,9	96	49,0	0,505	
	35,0	100	51,0	0,510	
	35,1	104			
	35,2	108			
	35,3	112			
	35,35	116			

Таблица 21 С.

Сравнительные опыты над прессованием, ударами с возрастающей энергией и ударами с постоянной энергией по свинцовым трубкам.

Характеристика образца	П о в т о р н ы е у д а р ы			
	Сжатие	Энергия W_m	Энергия W_p	Отношение $\frac{W_p}{W_m}$
Свинцовые трубки: Высота = 40 мм. Наружный диаметр = 40 мм. Внутренний диаметр = 30 мм.	мм	кг.м	кг.м	
	Вес бабы = 4 кг. Высота падения = 1 м			
	35,4	120		
	35,45	124		
	35,5	128		
	35,55	132		
	36,0	136		
	36,05	140		
	Вес бабы = 4 кг. Высота падения = 2 м			
	5,2	8	2,3	0,287
	10,5	16		
	17,0	24	7,9	0,330
	23,2	32	10,0	0,314
	28,5	40		
	30,1	48	18,5	0,385
	31,2	56		
	32,0	64	24,5	0,382
	32,5	72	26,0	0,360
	32,9	80		
	33,3	88	33,8	0,385
	33,8	96		
	34,1	104	40,0	0,385
	34,3	112		
	34,5	120	44,0	0,367
	34,8	128		
	35,0	136	51,0	0,375
	35,2	144		
	35,3	152		
	35,5	160		
	35,65	168		
	35,7	176		
	36,0	184		
	Вес бабы = 12 кг. Высота падения = 2 м			
	13,8	24	5,8	0,243
	27,9	48	14,1	0,293
	31,9	72		
	33,5	96	34,0	0,353
	34,2	120	41,0	0,342
	34,9	144	49,0	0,341
	35,4	168		
	36,0	192		
	36,4	216		
	36,8	240		

Таблица 21 D.

Сравнительные опыты над прессованием, ударами с возрастающей энергией и ударами с постоянной энергией по свинцовым трубкам.

Характеристика образца	П о в т о р н ы е у д а р ы			
	Баба весом 4 кг Высота падения 1 м			
	Сжатие	Энергия W_p	Энергия W_m	Отношение $\frac{W_p}{W_m}$
Свинцовые трубки:	24	58	11	0,19
Высота = 40 мм.	32,3	116	27	0,233
Наружный диаметр = 40 мм.	34,5	174	44	0,253
Внутренний диаметр =	35	232	51	0,221
30 мм.	36	290		
	36,5	348		

П р и м е ч а н и е.

Деформации трубки очень интересны и почти одинаковы как под прессом, так и от ударов большой и малой скорости.

Тем не менее, более равномерные деформации получаются при действии прессом и повторными ударами. При этих последних, перед каждым ударом можно изменять положение трубки относительно бабы.

На рис. 92 изображено несколько деформированных трубок. При небольших высотах падения трубка изгибается внаружу, где сопротивление меньше, и получается простая характерная складка. Однако, с увеличением высоты падения неустановившееся равновесие стенки стремится вызвать изгибания, на довольно большом протяжении высоты, которые производят внутренние и наружные складки перпендикулярные друг другу.

Простые складки образуются только у оснований. Хотя на первый взгляд кажется, что складки должны представлять рациональную деформацию на всем протяжении высоты, тем не менее это неверно, так как складка распространяется настолько же внутрь трубки, как и внаружу.

Это-то общее изгибание трубки противодействует образованию складок и вызывает последовательные симметричные деформации.

Диаграмма (рис. 91) показывает, что кривые *C*, *D* и *E* энергии баб обладают несколько волнистым характером, объясняемым образованием складок, вызывающих изгибание стенок внутрь и наружу, одновременно со сплющиванием металла.

Эти кривые стремятся к ординате, соответствующей абсциссе в 40 мм, которая для них является асимптотой,

Опыты показывают выгодность легкой бабы в 4 кг, сравнительно с бабами в 12 и 29 кг, в особенности при сжатиях в 12 мм, при которых происходят уже довольно выраженные боковые складки.

Отношения $\frac{W_p}{W_m}$, изменение которых изображено кривой *F* для бабы весом 4 кг, значительно уменьшаются. Полезное действие удара бабы, сравнительно с действием прессом, уменьшается по мере уменьшения высоты падения, т.-е. вместе с уменьшением скорости.

При бабах весом в 12 и 29 кг изменения этих отношений, изображенные кривыми *G* и *H*, одинаково понижаются при первых сжатиях, соответствующих малым скоростям, а затем становятся приблизительно постоянными при больших высотах падения.

Видно, что самой выгодной при сжатиях до 30 мм является баба весом 12 кг, после чего преимущество переходит к бабе весом 29 кг. Среднее значение этих отношений равно около 0,25, таким образом, ковка под молотом до одинакового сжатия трубчатых образцов требует затраты энергии приблизительно в четыре раза больше, нежели деформации под прессом.

Преимущество бабы в 12 кг перед бабой в 29 кг при начальных сжатиях, несомненно, надо приписать влиянию отношения масс бабы

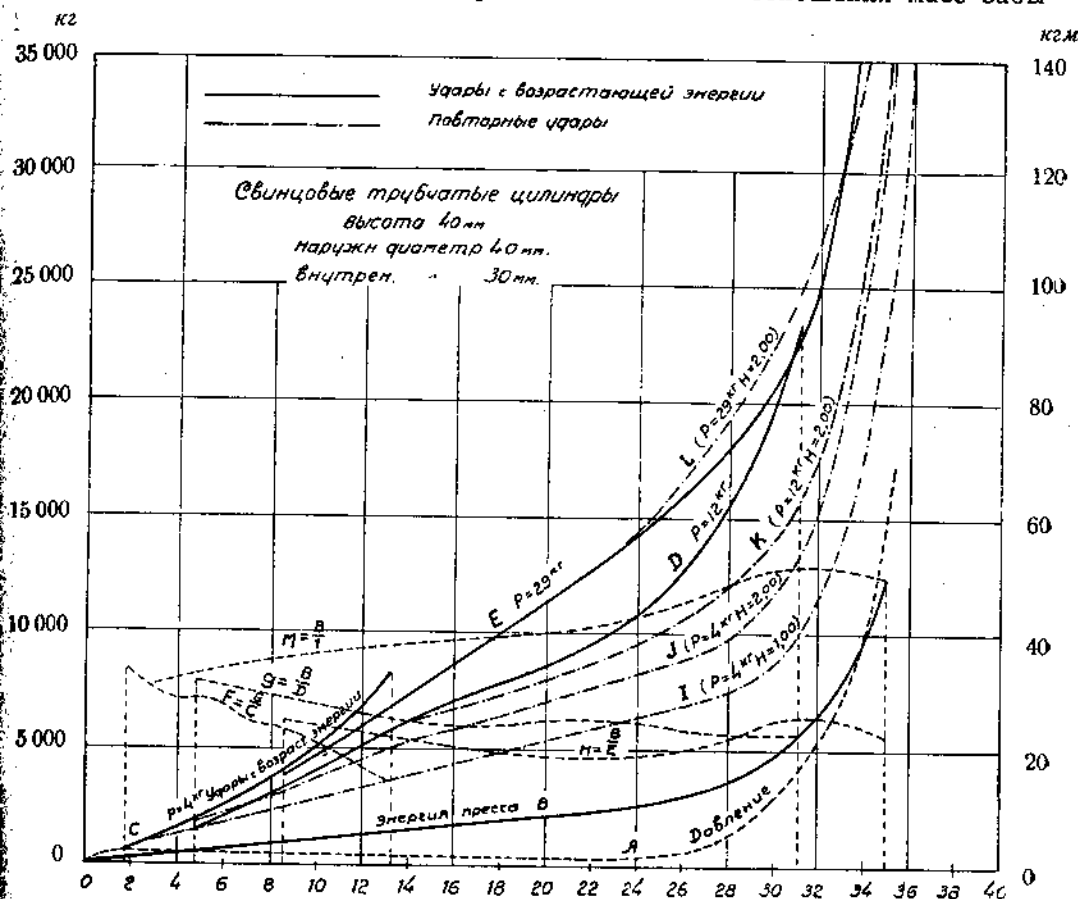


Рис. 91.

и наковальни, которое больше при весе бабы в 29 кг, нежели при бабе весом в 12 кг.

Сравнительные опыты над прессованием и ударами с возрастающей энергией и повторными ударами с постоянной энергией по свинцовым трубкам высотой в 40 мм. — Для сравнения действия ударов возрастающей энергии с действием повторных ударов с одинаковой энергией мы воспользовались такими же трубками как и выше. Результаты приведены в таблице 21 и на диаграмме (рис. 91). Кривая I относится к бабе весом 4 кг и высоте падения 1 м и показывает, что эта баба с малой скоростью падения обладает перед другими значительным преимуществом. Относительное полезное действие ее достигает $\frac{W_p}{W_m} = 0,150$.

Эти результаты совпадают с результатами, полученными при опытах с массивными свинцовыми цилиндрами.

Наиболее выгодное действие дает баба постоянного веса (кривая С), работающая ударами с возрастающей энергией (кривая $F = \frac{B}{C}$).

Рассмотрим кривые I и J . Они соответствуют весу бабы 4 кг, — первая при высоте падения в 1 метр, вторая при высоте падения в 2 метра. Таким образом, имеем $\frac{I}{J} = \frac{V}{V'} = \frac{\sqrt{H}}{\sqrt{H'}} = \frac{\sqrt{1}}{\sqrt{2}} = \frac{1}{1,414}$. Можно видеть, что энергии приблизительно пропорциональны скоростям, — действительно, при сжатии в 15 мм имеем отношение энергий $\frac{17 \text{ кг.м}}{22 \text{ кг.м}}$; при сжатии в 30 мм — $\frac{34 \text{ кг.м}}{46 \text{ кг.м}}$; при сжатии в 35 мм — $\frac{100 \text{ кг.м}}{142 \text{ кг.м}}$.

Следовательно, отношение энергий оказывается обратно пропорциональным скорости.

Если сравнивать кривую J (вес бабы 4 кг, высота падения 2 м) с кривой K (вес бабы 12 кг, высота падения также 2 м), то видно, что отношение ординат кривой J к ординатам кривой K , при одном и том же сжатии, больше отношения ординат кривой I к ординатам J . Это показывает влияние массы наковальни и значительно меньшее влияние изменения скорости.

Таким образом, при сжатии в 25 мм отношение

ординат $\frac{J}{K}$ равно $\frac{34 \text{ кг.м}}{40 \text{ кг.м}}$, тогда как отношение весов или масс будет $\frac{4}{12} = \frac{1}{3}$.

Поэтому выгоднее увеличивать массу бабы при одной и той же массе наковальни, нежели увеличивать скорость бабы меньшего веса.

Этого правила обычно придерживаются для больших ковочных молотов. Когда чаще всего требуется ковать мягкие металлы, обладающие большой вязкостью, согласно приведенному правилу обычно увеличивают вес бабы, но не ее скорость.

Если сравнивать кривую L (вес бабы 29 кг и высота падения 2 м) с кривой K и кривой J баб весом 12 и 4 кг при высоте падения 2 м, можно видеть, что расхождения кривых здесь больше. Это увеличенное расхождение выявляет значение отношения веса баб и влияние большой массы наковальни сравнительно с массой бабы.

Можно видеть, что кривая L повторных ударов представляет аномалию. Она находится выше кривой E при первых сжатиях, после чего пересекает последнюю, показывая тем самым, что преимущество переходит к повторным ударам.

Сравнительные опыты над прессованием и ударами с возрастающей энергией по свинцовым трубкам высотой в 20 мм. — Опыты, произведенные с трубками высотой 20 миллиметров, аналогичные с предыдущими, дали результаты, приведенные в таблице 22 и на диаграмме (рис. 93).

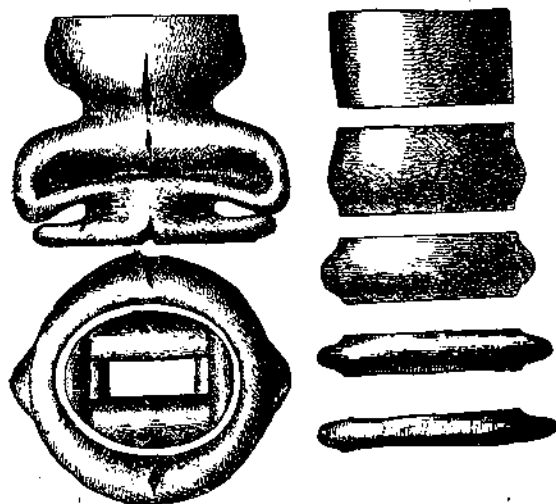


Рис. 92.

Таблица 22 А.

Сравнительные опыты над прессованием, ударами возрастающей энергии и повторными ударами по свинцовым трубкам.

Характеристика образца	П р е с с о в а н и е		
	Сжатие	Давление	Энергия
Свинцовая трубка:	<i>мм</i>	<i>кг</i>	<i>кг.м</i>
Высота = 20 <i>мм.</i>	1	530	0,3
	2	700	0,8
Наружный диаметр = 40 <i>мм.</i>	3	750	1,0
	4	770	1,2
Внутренний диаметр = 30 <i>мм.</i>	5	780	1,5
	6	790	1,9
	7	820	2,1
	8	850	2,6
	9	960	3,6
	10	1 200	4,1
	11	1 560	5,0
	12	2 200	6,8
	13	2 550	9,4
	14	3 500	12,2
	15	5 600	14,6
	16	10 200	24,8
	16,5	16 500	32,0
	17	22 000	38,8
	17,5	30 500	52,0
	18	40 000	68,0
	18,3	45 000	82,0

Характеристика образца	В е с б а б ы = 4 <i>кг</i>				
	Высота падения	Сжатие	Энергия W_m	Энергия W_p	Отношение $\frac{W_p}{W_m}$
Свинцовая трубка:	<i>м</i>	<i>мм</i>	<i>кг. м</i>	<i>кг. м</i>	
Высота = 20 <i>мм.</i>	0,50	2,0	2	0,8	0,400
	1	2,8	4	0,9	0,225
Наружный диаметр = 40 <i>мм.</i>	2	5,4	8	1,7	0,213
	3	6,7	12	2,0	0,167
	4	7,8	16	2,4	0,150
Внутренний диаметр = 30 <i>мм.</i>	5	8,5	20	3,0	0,150
	6	9,2	24	3,6	0,150
	7	10,0	28	4,1	0,147
	8	10,5	32	4,5	0,141

Таблица 22 В.

Сравнительные опыты над прессованием, ударами с возрастающей энергией и повторными ударами по свинцовым трубкам.

Характеристика образца	В е с б а б ы = 12 кг				
	Высота падения	Сжатие	Энергия W_m	Энергия W_p	Отношение $\frac{W_p}{W_m}$
Свинцовые трубки: Высота = 20 мм. Наружный диаметр = 40 мм. Внутренний диаметр = 30 мм.	мм	мм	кг.м	кг.м	
	0,50	4,1	6	1,3	0,217
	1	6,8	12	2,0	0,167
	2	9,8	24	4,0	0,167
	3	11,9	36	6,6	0,183
	4	12,8	48	8,8	0,184
	5	14,2	60	13,0	0,217
	6	14,8	72	15,8	0,220
	7	15,4	84	18,0	0,215
	8	15,7	96	20,8	0,225
	В е с б а б ы = 29 кг				
	0,50	7,2	14,5	2,2	0,152
	1	10,9	29	4,8	0,166
	2	14,2	58	12,8	0,222
	3	15,8	87	21	0,242
	4	16,5	116	32	0,270
	5	16,9	145	36	0,258
	6	17,2	174	43	0,254
	7	17,5	203	52	0,255
	8	17,8	232	58	0,250
	Опыты над повторными ударами				
	Вес бабы = 4 кг Высота падения = 1 м				
		Сжатие	Энергия W_m	Энергия W_p	Отношение $\frac{W_p}{W_m}$
		мм	кг.м	кг.м	
Высота = 30 мм. Наружный диаметр = 40 мм. Внутренний диаметр = 30 мм.	2,8	4	0,9	0,225	
	4,8	8	1,4	0,175	
	7,0	12	2,1	0,175	
	9,0	16	3,6	0,225	
	10,0	20	4,1	0,205	
	11,5	24	5,8	0,242	
	12,0	28	6,8	0,243	
	13,0	32	9,4	0,294	
	13,5	36	10,5	0,293	

Таблица 22 С.

Сравнительные опыты над прессованием, ударами с возрастающей энергией и повторными ударами по свинцовым трубкам.

Характеристика образца	Опыты над повторными ударами				
	Вес бабы = 4 кг Высота падения = 1 м				
	Сжатие	Энергия W_m	Энергия W_p	Отношение $\frac{W_p}{W_m}$	
Свинцовые трубки: Высота = 30 мм. Наружный диаметр = 40 мм. Внутренний диаметр = 30 мм.	мм	кг.м	кг.м		
	14	40	12,2	0,305	
	14,5	44	14,0	0,318	
	14,8	48	15,6	0,325	
	15,2	52	17,0	0,326	
	15,5	56	20,0	0,357	
	15,7	60	20,8	0,349	
	15,9	64			
	16,0	68	24,8	0,365	
	16,1	72			
	16,4	76			
	16,5	80	29,0	0,364	
	16,6	84			
	16,7	88			
	16,8	92			
	16,9	96	33,0	0,384	
	17,0	100	38,8	0,388	
	Вес бабы = 4 кг Высота падения = 8 м				
	10,5	32	4,5	0,140	
	14,0	64	12,2	0,191	
	15,5	96	20	0,209	
	16,2	128	26	0,203	
	16,8	160	34	0,213	
	17,1	192	42	0,219	
	Вес бабы = 12 кг Высота падения = 1 м				
Высота = 20 мм.	6,8	12	2	0,167	
Наружный диаметр = 40 мм.	11,0	24	5	0,208	
	13,0	36	9,4	0,262	
Внутренний диаметр = 30 мм.	14,5	48	14	0,391	
	15,7	60	20,8	0,35	
	16,2	72	26	0,36	
	16,4	84	29	0,345	
	16,8	96	34	0,355	
	17,2	108	43	0,400	
	Вес бабы = 29 кг Высота падения = 1 м				
10,8	29	4,8	0,166		
14,5	58	14	0,242		
16,2	87	26	0,300		
16,8	116	34	0,294		
17,2	145	43	0,304		

Так как высота цилиндров невелика, то боковой изгиб стенки получается меньше, нежели при высоте цилиндра в 40 мм.

Кривые С, D, E ударов с возрастающей энергией очень плавны и мало удаляются друг от друга. Преимущество еще остается за кривой E тяжелой бабы весом 29 кг, отношение энергии которой к энер-

гии пресса еще равняется в среднем 0,25, тогда как для других баб получаются несколько меньшие отношения.

Можно видеть, что в пределах высоты трубок 40 мм и 20 мм, отношение энергий пресса и молота мало меняется.

Кривые F, G, H отношений энергии $\frac{W_p}{W_m}$ дают минимум при сжатии около 10 мм, т.-е. при сжатии равном половине высоты образца.

Сравнительные опыты над прессованием и повторными ударами с постоянной энергией по свинцовым трубкам высотой в 20 мм.— Трубки высотой 20 мм при повторных ударах дали результаты одинаковые с результатами, полученными для трубок в 40 мм. Результаты этих опытов приведены в таблице 22 и на диаграмме (рис. 93). Преимущество все еще принадлежит легкой бабе в 4 кг при высоте падения в 1 м, требующей меньшей затраты энергии и дающей очень равномерные деформации.

Тем не менее баба весом 12 кг при высоте падения в 1 м обладает почти одинаковыми достоинствами.

Обе кривые J и K пересекаются и остаются очень близкими друг к другу.

Тяжелая баба весом 29 кг при высоте падения в 1 м, хотя и менее выгодна, нежели предыдущие, но тем не менее все же экономичнее других, действующих ударами с возрастающей энергией или одним только ударом, как-то показывает кривая L.

Чтобы ярче выявить неблагоприятное влияние возрастания скорости, мы делали удары бабой весом 4 кг при высоте падения 8 м. Соответствующая этому случаю кривая M проходит выше всех остальных, но тем не менее она выгоднее кривой С. Если бы баба могла

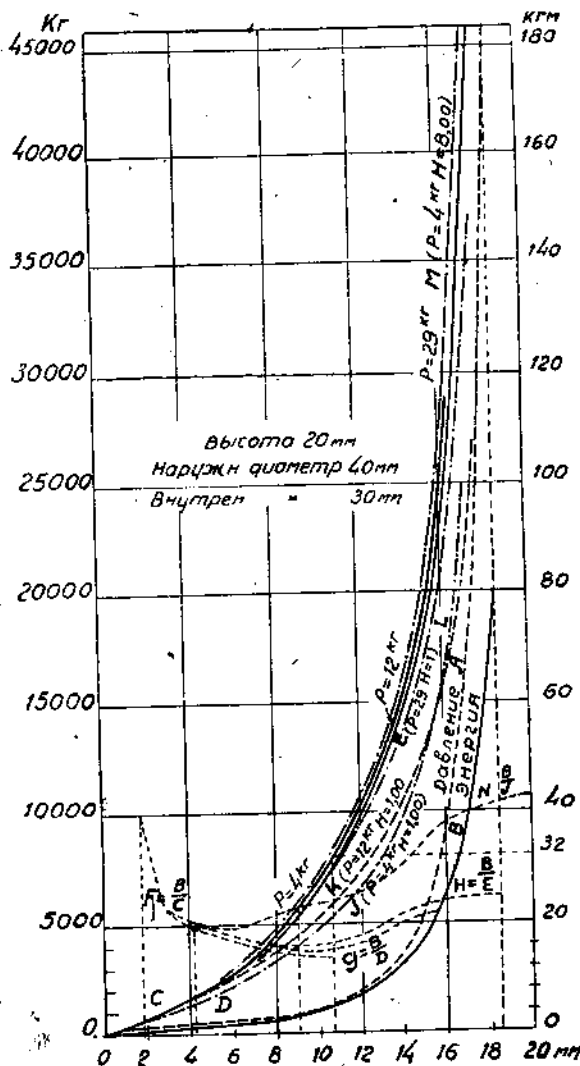


Рис. 93.

Таблица 23 А.

Сравнительные опыты над прессованием повторными ударами по железным трубкам.

Характеристика образца	П р е с с о в а н и е			
	Последова- тельная высота цилиндра	Сжатие	Давление	Расчитанная энергия
	мм	мм	кг	кг. м
Железная трубка:	40	—	—	—
	39,75	0,25	400	—
Высота = 40 мм.	39,50	0,5	900	0,5
	39	1	3 800	1,9
Наружный диаметр 30 = мм.	38	2	7 900	8,0
	37	3	9 000	16,5
Внутренний диаметр = 25 мм.	36	4	9 800	26,0
	35	5	10 450	36,2
	34	6	10 700	47,0
	33	7	10 700	57,8
	32	8	10 500	68,4
	31	9	9 800	78,6
	30	10	9 000	88,1
	29	11	8 000	96,6
	28	12	7 000	104,1
	27	13	6 400	110,8
	26	14	6 550	117,1
	25	15	8 200	123,7
	24	16	8 500	131,3
	23	17	8 600	139,8
	22	18	8 650	148,5
	21	19	8 550	157,2
	20	20	8 100	165,5
	19	21	7 000	173,1
	18	22	7 100	180,3
	17	23	7 200	187,5
	16	24	8 000	195,2
	15	25	10 300	204,2
	14	26	12 000	215,2
	13	27	14 200	228,2
	12	28	19 400	244,7
	11	29	24 000	266,2
Вес бабы = 11 кг Высота падения = 1 м				
Последо- вательная высота цилиндра	Сжатие	Энергия бабы W_m	Энергия пресса W_p	Отношение $\frac{W_p}{W_m}$
мм	мм	кг. м	кг. м	
40,0	—	—	—	—
39,6	0,5	11	0,5	0,045
39,0	1	22	1,9	0,086
38,3	1,7	33	5,9	0,179
37,7	2,3	44	10,0	0,224
37,2	2,8	55		
36,7	3,3	66		
36,2	3,8	77	22,0	0,286
35,7	4,3	88		
35,2	4,8	99		
34,6	5,4	110	40,0	0,365
34,2	5,8	121		

Таблица 23 В.

Сравнительные опыты над прессованием и повторными ударами по железным трубкам.

Характеристика образца	В е с б а б ы = 11 кг				
	В ы с о т а п а д е н и я = 1 м				
	Последо- вательная высота цилиндра	Сжатие	Энергия бабы W_m	Энергия пресса W_p	Отноше- ние $\frac{W_p}{W_m}$
	мм	мм	кг.м	кг.м	
Железная трубка:	33,7	6,3	132		
	33,3	6,7	143		
Высота = 40 мм.	32,7	7,3	154		
	32,3	7,7	165		
	31,8	8,2	176		
Наружный диаметр = 30 мм.	31,3	8,7	187		
	30,9	9,1	198	80	0,405
Внутренний диаметр = 25 мм.	30,4	9,6	209		
	30,1	9,9	220		
	29,6	10,4	231		
	29,2	10,8	242		
	28,7	11,3	253		
	28,3	11,7	264	98	0,372
	27,8	12,2	275		
	27,3	12,7	286		
	26,8	13,2	297		
	26,3	13,7	308		
	25,8	14,2	319		
	25,3	14,7	330		
	24,8	15,2	341		
	24,3	15,7	352		
	23,8	16,2	363		
	23,3	16,7	374		
	22,8	17,2	385	140	0,364
	22,3	17,7	396		
	21,7	18,3	407		
	21,3	18,7	418		
	20,8	19,2	429		
	20,4	19,6	440		
	20,0	20,0	451	165,5	0,365
	19,6	20,4	462		
	19,2	20,8	473		
	18,8	21,2	484		
	18,4	21,6	495		
	18,0	22,0	506	180,3	0,357
	17,7	22,3	517		
	17,3	22,7	528		
	16,9	23,1	539		
	16,5	23,5	550		
	16,2	23,8	561		
	15,8	24,2	572	198	0,345
	15,3	24,5	583		
	15,2	24,8	594		
	14,9	25,1	605	206	0,340
	14,6	25,4	616		
	14,3	25,7	627		
	14,0	26,0	638		
	13,7	26,3	649		
	13,3	26,7	660		
	13,1	26,9	671		
	12,8	27,2	682	232	0,339

Таблица 23 С.

Сравнительные опыты над прессованием и повторными ударами по железным трубкам.

трубки.

Характеристика образца	В е с б а б ы = 11 кг				
	В ы с о т а п а д е н и я = 4 мм				
	Последо- вательная высота цилиндра	Сжатие	Энергия бабы W_m	Энергия пресса W_p	Отноше- ние $\frac{W_p}{W_m}$
Железная трубка: Высота = 20 мм. Наружный диаметр = 30 мм. Внутренний диаметр = 25 мм.	мм	мм	кг.м	кг.м	—
	40,0	—	—	—	0,375
	37,0	3,0	44	16,5	0,445
	34,5	5,5	88	39	0,485
	32,4	7,6	132	64	0,518
	29,7	10,3	176	91	0,515
	26,6	13,4	220	112	—
	Высота падения = 8 м				
	40	—	—	—	—
	34,6	5,4	88	40	0,455
	29,5	10,5	176	94	0,535
	22	18,0	264	148,5	0,565
	В е с б а б ы = 30 кг				
В ы с о т а п а д е н и я = 1 м					
	Сжатие	Энергия бабы W_m	Энергия пресса W_p	Отношение $\frac{W_p}{W_m}$	
	мм	мм	кг. м		
	1,7	30	4,8	0,160	
	2,8	60	14	0,234	
	4,4	90	28	0,312	
	5,6	120	41	0,342	
	6,7	150	53	0,352	
	8,4	180	73	0,405	
	10,1	210	89	0,423	
	11,6	240	102	0,425	
	13,5	270	117	0,434	
	15,7	300	126	0,421	
	18,0	330	148,5	0,451	
	19,9	360	156	0,434	
	22,4	390	183	0,468	
	24,2	420	197	0,470	
	25,2	450	207	0,460	
	26,5	480	222	0,461	
	27,5	510	236	0,462	
	28,4	540	252	0,468	
	29,1	570	270	0,474	
	29,5	600	286	0,476	
	Высота падения = 8 м				
	12,0	240	104	0,434	
	23,5	438	192	0,400	
	29,5	720	286	0,397	
	Высота падения = 4 м				
	7	120	57,8	0,48	
	16	240	131,8	0,556	
	26	360	215,2	0,697	
Температура трубок под действием ударов повышалась настолько, что их нельзя было держать рукой.					

Повторные удары бабой весом в 11 кг при падениях с высот 1, 4 и 8 м дают кривые *C*, *D*, *E*.

Кривая *C* значительно отклоняется от двух других. Это подтверждает правило, что при столь упругом металле, как железо в холодном состоянии, не следует пользоваться бабой, развивающей слабую энергию. Отношения $\frac{W_p}{W_m}$ для бабы в 11 кг при высоте паде-

ния в 1 м дают кривую $\frac{B}{C}$ с возрастающими ординатами при первых сжатиях. Затем при сжатии в 10 мм наблюдается максимум, после чего ординаты уменьшаются, имея среднее значение около 0,35.

При первых ударах коэффициент полезного действия очень невелик, так как упругость достигает своего наибольшего значения. Отсюда ясна вся выгода прессы в течение этого периода.

В среднем такая легкая баба требует в три-четыре раза больше энергии, нежели пресс.

Очень любопытно, что кривые *D* и *E* столь близки одна к другой, а также и к наиболее выгодной кривой *D'*, соответствующей весу бабы в 30 кг при высоте падения в 4 м.

Не менее любопытно, что бабе весом 30 кг при высоте падения 1 м надо отдать предпочтение перед той же бабой при высоте падения в 8 метров.

Заметим также, что все шесть кривых очень близки друг к другу при первых сжатиях, и затем сильно расходятся при сжатиях свыше 8 мм.

Наиболее крутые две кривые *C* и *E'* показывают, что слишком легкая баба, невыгодна, так как упругость поковки поглощает большую часть ее энергии.

Баба большого веса при большой высоте падения одинаково невыгодна, так как реакция наковальни и быстрота удара вызывают большую потерю энергии в виде вибрации или тепла.

Температура опытных трубок при ударах бабы в 30 кг, падающей с высоты в 8 м, была около 100°; трубки нельзя было касаться рукой в особенности после сплющивания. При бабе весом в 11 кг или при бабе весом 30 кг и падении в 1 м температура трубки была еще выше.

Если считать, что повышение температуры от ударов благоприятствует ковке, то отсюда еще нельзя делать вывода, что всегда надо пользоваться тяжелой бабой при большей высоте падения или при большой скорости, так как результат зависит также от массы и формы поковки. Достаточно напомнить, что такой упругий металл, как сталь, лучше всего ковать, в особенности при малой толщине, под бабами с большой скоростью падения. Таким образом сохраняется высокая температура материала и избегаются частые повторные нагревы, потому что потеря тепла компенсируется теплом, развивающимся от потери энергии.

Можно констатировать при этих опытах, что кривые *D*, *E*, *D'* одинаково приложимы при определенных размерах поковки к бабе весом в 11 кг с высотой падения в 4—8 м и к бабе весом 30 кг при высоте падения 4 м, т.-е. к бабам, развивающим энергии в 44, 88 и 120 кг.м.

Необходимо, чтобы мощность бабы соответствовала свойствам поковки, а также массе наковальни. При этих условиях полезное действие бабы, сравнительно с полезным действием прессы, или отношение $\frac{W_p}{W_m}$, может повыситься более чем до 0,50, дости-

гая 0,70 при ясно выраженном сплющивании поковки или при небольшой ее толщине.

Колебания отношений $\frac{W_p}{W_m}$ надо приписать особенно изменению толщины поковки. Относительное полезное действие бабы меньше при первых ударах и больше при последних.

Надо еще заметить, что в этих опытах кривые энергии баб несколько вогнуты в направлении к оси абсцисс до сжатий в 20 мм, после чего они становятся выпуклыми. Таким образом, кривые $C_1, D_1, E_1, C'_1, D'_1, E'_1$, проходящие через начало координат, находятся ниже кривых C, D, E , а затем выше их. Отсюда следует, что в случае упругого металла ковка его ударами с возрастающей энергией сперва выгоднеековки повторными ударами с одинаковой энергией, а затем при значительных сжатиях становится менее выгодной.

Опытыковки железа при вишнево-красном калении.

Мы дополнили наши опыты опытами над горячей ковкой при светлом вишнево-красном калении, нагревая опытные трубки в печи.

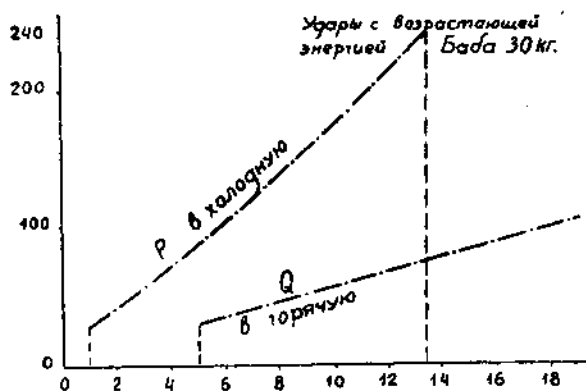


Рис. 95.

Таблица 24 показывает результаты опытов с бабой весом 30 кг при высоте падения от 1 м до 8 м. Кривая M энергии (рис. 94) находится ниже кривой B энергии пресса, исключая только ее начала.

Среднее значение $\frac{W_p}{W_m} = 1,25$. То же отношение при весе бабы в 30 кг, падении в 4 метра и холодном образце равняется 0,55, поэтому:

$$\frac{W_p}{W_{mc}} = 1,25 \text{ и } \frac{W_p}{W_{m4}} = 0,55,$$

откуда

$$\frac{W_{m4}}{W_{mc}} = \frac{1,25}{0,55} = 2,3.$$

Это значит, что для холодной ковки железа требуется приблизительно в два или в два с половиной раза больше энергии, нежели для ковки при вишнево-красном калении при сжатиях около 15 мм. Кривые P и Q диаграммы (рис. 95) относятся к опытным трубкам длиной 80 мм; данные для этих кривых приведены в той же таблице 24 внизу. Отношения $\frac{W_c}{W_p}$, для которых мы привели только два значения, указывают,

при ковке железа при вишнево-красном калении требуется, прино, в три раза меньшая энергия, нежели при холодной ковке.

Таблица 24.

Сравнительные опыты над ударами по холодным и горячим железным трубкам высотой в 40 и 80 м.м.

Характеристика образца	Удары с возрастающей энергией при вишнево-красном калении трубки						
	В е с б а б ы = 30 кг						
	Сжатие	Высота падения	Энергия бабы W_m	Энергия пресса W_p	Отноше- ние $\frac{W_p}{W_m}$		
Железная трубка: Высота = 40 мм. Наружный диаметр = 30 мм. Внутренний диаметр = 25 мм.	мм	м	кг.м	кг.м			
	4	1	30	26,0	0,87		
	9	2	60	78,6	1,30		
	13,5	3	90	117,0	1,30		
	18,0	4	120	148,5	1,24		
	22,5	5	150	185,0	1,23		
	27,0	6	180	228,2	1,27		
	30,0	7	210				
	32,5	8	240				
Удары с возрастающей энергией по железным трубкам высотой 80 м							
В х о л о д н у ю			В г о р я ч у ю				
Сжатие	Высота па- дения	Энергия W_f	Сжатие	Высота па- дения	Энергия бабы W_c	Энергия пресса W_f	Отношение $\frac{W_c}{W_f}$
мм	м	кг.м	мм	м	кг.м	кг.м	
1,0	1	30	5	1	30	84	0,357
3,0	2	60	10,5	2	60	186	0,322
5,5	3	90	17	3	90		
7,0	4	120	27	4	120		
8,8	5	150	37	5	150		
10,2	6	180	45	6	180		
11,8	7	210	49,5	7	210		
13,5	8	240	53	8	240		

Общие выводы из опытов над прессованием и ударами.

Перечисленные выше опыты дают возможность сравнивать оба механических процессаковки металлов под прессом и под молотом, т.-е. медленное и быстрое сжатие металла.

Из опытов вытекает:

1) что при мягких металлах механический коэффициент полезного действия прессы может быть вчетверо, втрое и, минимум, вдвое больше такого же коэффициента молота при средних практических скоростях удара и

2) что для металлов, обладающих большей или меньшей упругостью и большим сопротивлением, как, например, сталь, при темно-красном или вишнево-красном калении относительный коэффициент полезного действия понижается. Вследствие этого сжатие металла ударом и сжатие его постепенным давлением требуют приблизительно одинаковой затраты механической энергии.

Если, с другой стороны, принимать во внимание падение температуры металла в течение времени, потребного для последовательных операций, можно видеть, что при ковке под молотом баба не находится с поковкой в постоянном соприкосновении и потому охлаждение идет не столь быстро, как при работе медленно действующими и постоянно соприкасающимися с поковкой инструментами прессы.

Кроме того, удар поддерживает температуру поковки, так как большая часть неиспользованной для деформации энергии превращается в теплоту, поддерживающую температуру обрабатываемого изделия.

Таким образом, эти благоприятные обстоятельства при ковке ударами отчасти окупают ее отрицательные стороны.

Наоборот, при прессовании поковка находится в длительном соприкосновении с инструментами, поглощающими теплоту и быстро передающими ее всей металлической массе прессы. Медленное сжатие развивает небольшое количество тепла, и если масса поковки невелика, в особенности ее толщина, то операция будет протекать в неблагоприятных условиях.

При большой же массе металла высокая температура его сохраняется в течение времени, потребного для операций, а потому обработка лучше выполняется под прессом, нежели под молотом. В этом случае вопрос сводится к мощности, при чем необходимо признать, что при развитии того же усилия пресс является чрезвычайно сложным орудием, требующим большего ухода, чем молоты различных конструкций.

Сравнительная мощность молота и прессы.

С динамической точки зрения невозможно произвести теоретического сравнения молота и прессы, так как при ударе мы располагаем энергией в виде живой силы $\frac{Mv^2}{2} = KEF$. Оба коэффициента E и F изменяются в зависимости от характера обрабатываемого металла и достигают предела, равного сопротивлению инструмента, которое всегда очень велико. Коэффициент K также изменяется в широких пределах.

В прессе мы располагаем медленным усилием, изменяющимся от нуля до конечного предела, соответствующего определенному максимуму, который способна развить машина.

Сравнение возможно только в специальных условиях, при обработке одинаковых поковок в тот же промежуток времени, чего можно достигнуть только практическими опытами.

При обыкновенных ковочных работах и при ковке в матрицах конструкторы принимают для эквивалентности действия пресса и молота отношения максимального усилия пресса к весу бабы, колеблющиеся от 50 до 100 и даже более. Например, при отношении равном 50, молот простого действия в 1.000 кг соответствует прессу в 50 000 кг. Таким образом, для развития среднего усилия F в 50 000 кг при высоте падения бабы в 1 м, она должна обладать энергией в 1 000 кг. м, а потому необходимо, чтобы боек проходил теоретический путь равный $\frac{1\,000}{50\,000} = 0,020$ мм.

Принимая коэффициент полезного действия $K = \frac{1}{3}$, сжатие поковки будет 0,0066 — значение вполне приемлемое для ковких металлов.

При отношении равном 100, баба в 1 000 кг будет соответствовать прессу в 100 тонн; производимое бабой сжатие будет не свыше 0,0033, что допускает ковку железа при красном калении, требующую давления в 15 кг на квадратный миллиметр, и позволяет работу при поверхности бойка $S = \frac{100\,000}{15} = 6\,600$ мм², т.-е. при размерах рабочей поверхности бойка, например, 50×130 мм.

Если указывается отношение эквивалентности между этими двумя орудиями, то оно может быть лишь весьма относительным.

Надо считаться не только с весом бабы, но также с высотой падения или скоростью, т.-е. с максимальной располагаемой энергией PH или $\frac{Mv^2}{2}$. Устанавливая это отношение, необходимо основываться,

в зависимости от каждого данного случая, на сжатии E поковки, которое является главной переменной. Не следует упускать из вида, что молот еще вполне применим, тогда как пресс достаточный для определенной работы окажется бессильным для производства специальной, более тяжелой работы. Это одно из главных преимуществ молота, пригодного ко всякого рода работам, как к требующим слабого усилия, так и к требующим чрезвычайно больших усилий, сравнительно с теми, которые может дать практически эквивалентный ему пресс.

Вообще высоту падения в молотах со свободно падающей бабой можно принимать равной $H = m\sqrt[3]{P}$. Принимая сжатие от удара $E = nH = mn\sqrt[3]{P}$, и называя среднее усилие или сопротивление поковки через F , коэффициент полезного действия бабы, равный отношению энергии пресса к энергии молота $\frac{W_p}{W_m}$, через K , можно написать:

$$EF = KPH, \text{ откуда } \frac{F}{P} = \frac{KH}{E} = \frac{Km\sqrt[3]{P}}{mn\sqrt[3]{P}} = \frac{K}{n}.$$

Таким образом, отношение усилия пресса к весу бабы равняется отношению коэффициента полезного действия K к коэффициенту, зависящему от высоты падения в выражении сжатия. Коэффициент полезного действия сжатия может колебаться между 0,30 и 0,7.

$$\text{При } K = 0,40 \text{ и } n = 0,01, \frac{F}{P} = \frac{0,40}{0,01} = 40.$$

При таком очень небольшом отношении молот с бабой весом 3 500 кг при высоте падения 2 м эквивалентен прессу, развивающему среднее усилие в 140 000 кг. Во многих случаях этот пресс будет недостаточен, тогда как молот еще в состоянии работать вполне успешно.

Имея в виду максимальное значение F , этот множитель приходится помножить на коэффициент, изменяющийся между 1,2 и 2,0 в зависимости от характера металла.

Рассмотрим в виде примера ковку буферной вагонной тарелки диаметром 400 мм, т.-е. с поверхностью, равной 125 000 мм². Допустим, что удар бабы вызывает полезное сжатие $E = 0,0066$, минимальное усилие F будет:

$$F = \frac{KPH}{E} = \frac{0,40 \times 3500 \times 1,50}{0,0066} = 420\,000 \text{ кг.}$$

Таким образом, потребуется пресс в 420 тонн, развивающий на единицу поверхности давление равное только $\frac{420\,000}{125\,000} = 3,4 \text{ кг}$ на квадратный миллиметр. Такого давления достаточно для сварочного железа при температуре около 1300°.

$$\text{Отношение } \frac{F}{P} = \frac{420\,000}{3\,500} = 120.$$

Пресс окажется бессильным, как только температура упадет до 1000°. Молот будет тем не менее в состоянии продолжать обработку, и закончит поковку при одном нагреве, как это обычно производится.

Если сравнивать молот с бабой в 125 тонн, при высоте падения в 5 м, и пресс в 14 000 тонн Вифлеемского завода при выполнении ими одинаковой работы, то получается окончательное сжатие, равное $\frac{125\,000 \times 5}{140\,000\,000} = 0,045 \text{ м.}$

Допуская коэффициент полезного действия молота втрое меньше, сжатие будет 0,015 м.

$$\text{Отношение } \frac{F}{P} = \frac{14\,000\,000}{125\,000} = 112.$$

На заводе Крезе молот в 100 тонн и пресс в 6 000 тонн установлены в условиях эквивалентности, а потому принятое отношение равняется $\frac{6\,000}{100} = 60$.

Отсюда видно, что в среднем отношение эквивалентности прессы и молота можно принять равным от 60 до 100, при чем это значение при малых мощностях может быть еще выше.

При вытяжке стальных болванок квадратного сечения для эквивалентности молота и прессы принимают следующие значения:

Стороны болванок в метрах	0,1	0,5	1,00	1,50	2,00	2,50
Мощность F прессы в тоннах	100	700	1700	3300	6000	10000
Вес P бабы в тоннах	0,5	7	27	60	120	—
Отношение $\frac{F}{P}$	200	100	63	55	50	—

Эти значения, изображенные графически кривыми $F, P, \frac{F}{P}$ (рис. 96), показывают, что для самых больших сечений возрастание веса баб идет быстрее увеличения мощности эквивалентных прессов, что указывает на возрастание выгоды применения прессы с увеличением болванки. Отношение $\frac{F}{P}$ равняется 200 при сечении $0,1 \times 0,1 \text{ м}$ и падает до 50 при сечении $2 \times 2 \text{ метра}$.

Известные кузнецы, однако, принимают для вытяжка поковок больших сечений величину P для баб, а также отношения $\frac{F}{P}$ бóльшие, чем указывают диаграммы и таблица.

Дляковки в матрицах отношения $\frac{F}{P}$ должны быть увеличены втрое и даже больше, например, под молотом в 5 тонн можно ковать в матрицах такие изделия, которые невозможно обрабатывать под прессом в 500 тонн. Для них потребовался бы пресс по крайней мере от 1 200 до 1 500 тонн.

Указанные выше размеры болванок обычно соответствуют нормальной ширине наковален, но ясно, что эти размеры весьма относительные.

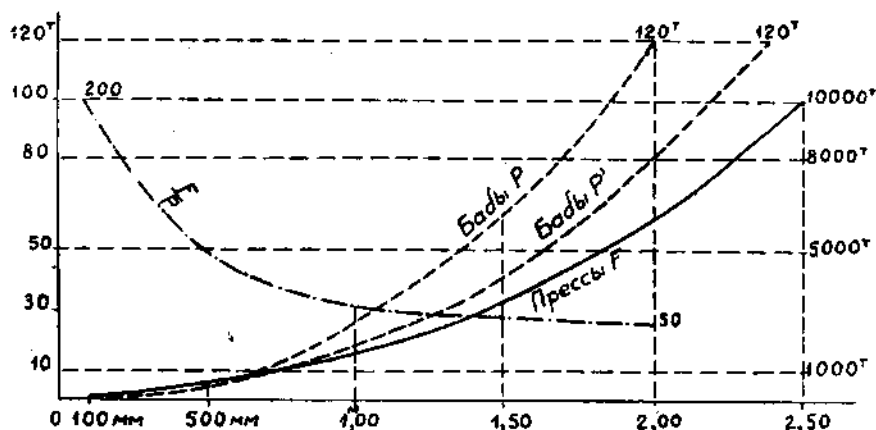


Рис. 96.

Ширину b наковален молотов с падающей бабой весом до 10 тонн можно принимать от 50 до 150 мм. Для больших молотов можно брать $b = 30 (P' + 30)$ мм.

Длина l наковални колеблется между 3 и 5 b . Для прессов принимают размеры наковален эквивалентных молотов.

Заметим, что в случае значительных сжатий отношение $\frac{F}{P}$ можно уменьшить, но для того, чтобы можно было продолжать работу при пониженных температурах, это отношение надо увеличить, что позволяет действовать быстрее, а быстрота является одним из главных условий современного производства. Если в прежнее время заводы Петен и Гюде ковали болванки в 0,50 до 0,60 м в стороне под молотом в 3 500 кг с высотой падения 2 м при нескольких нагревах, то в настоящее время все эти поковки куются значительно более сильными молотами от 20 до 50 тонн или под прессом от 500 до 2 000 тонн, сокращающими до минимума количества нагревов. Молоты в 25 тонн считают уже недостаточными дляковки коленчатых валов паровозов, а потому пользуются прессами значительно большей мощности для ускорения работы и увеличения производительности. Последнее обстоятельство еще важнее высокого механического коэффициента полезного действия, который должен рассматриваться как второстепенный фактор.

Например, прессом в 1 200 тонн можно пользоваться для вытяжки болванок квадратного сечения в 0,700 м в стороне, превращая их в цилиндрические валы диаметром 0,400 м в количестве 4 тонн в час, тогда как производительностьковки под 15-тонным

молотом будет вдвое или втрое меньше. Вытяжка под прессом может производиться вдвое скорее, нежели под молотом эквивалентной мощности.

Так, например, вытяжка восьмигранной болванки диаметром 0,900 м и длиной 1200 м под прессом в 2000 тонн до квадратного сечения $0,30 \times 0,30$ м заняла 50 минут времени при одном нагреве. Для такого же результата под молотом потребовалось два нагрева и два рабочих периода, по часу каждый. Пресс в 2000 тонн превращает в продолжение 15 минут болванку в 3 тонны диаметром 0,80 м в болванку, соответствующую длине коленчатого вала.

Приписываемое прессу более сконцентрированное действие — совершенно относительное. Этот вопрос зависит от соотношения размеров инструмента и поковки.

Если внешние давления распространяются по всей поверхности металла как, например, при прессовании короткой болванки в изложнице, или при прессовании отливки в ее форме, то можно заметить, что при длительном давлении прессы зерна стали сжимаются в массе сильнее, нежели при очень сильном ударе, действующем в течение очень короткого промежутка времени, в несколько тысячных долей секунды.

Однако при болванке со значительной свободной поверхностью, как только достигается требующаяся деформация и устанавливается максимальное усилие прессы, затрачиваемую энергию можно считать величиной постоянной. Под молотом можно также получить приблизительно одинаковую с предыдущей деформацию, проникающую в глубину болванки. Однако эта глубина распространения деформации потребует затраты дополнительной энергии для преодоления сил инерции, которыми нельзя пренебрегать. Таким образом, количеством затраченной энергии можно регулировать глубину воздействия давления. Так как кристаллоиды металла подвергаются воздействиям большим, нежели то требуется для смещений одинаковых количеств под прессом, то они сжимаются сильнее. Возьмем в виде примера два шара из изотропного металла. Один из них подвергается действию молота и приводится к той же форме, которая придается другому шару под прессом. В первом развиваются силы инерции несравненно большие, чем во втором. Это силы могут поглощаться упругостью изложницы, противодействующей деформациям. Таким образом, силы реакции при молоте получаются больше, нежели при прессе, дающем более энергичное сжатие кристаллоидов в радиальных направлениях.

Достаточно сильная ковка под молотом изделия, большая часть поверхности которого свободна, оказывается, таким образом, более действительной и глубокой, нежели прессование. Повидимому, при ковке под молотом на кристаллоиды сосредоточивается больше энергии, нежели при обработке под прессом. Эта затрата энергии тем больше, чем больше вязкость металла. Здесь мы имеем еще пример большей действительности удара при обработке мягких материалов.

Если возвратиться к опытам Шомиенна со стальными раскаленными до-красна цилиндрами, одинаково сжимаемыми под молотом и прессом, мы увидим (рис. 97), что общая деформация наружной поверхности, произведенная молотом, менее выражена, нежели деформация под прессом, обозначенная пунктиром. Мы видим также, даже без расчета соответствующих объемов ¹⁾, что объем прессованного

¹⁾ При расчете получается разность объема в 30 см³. Так как первоначальный объем обоих цилиндров диаметром и высотой 100 мм равняется 785 см³, то разница составляет около 4% начального объема, что очень много.

цилиндра А значительно больше объема цилиндра В. Так как первоначальные объемы были одинаковы, то из этого вытекает, что плотность цилиндра В больше плотности цилиндра А. Таким образом, зерна металла сжимаются сильнее под молотом, нежели под прессом.

Это замечание относится к большинству опытов, аналогичных с предыдущими. Шомиенн, разрезая цилиндры, заметил, что при ковке под молотом зерна металла очень сильно сжаты по всей массе и особенно у поверхностей приложения инструмента. При ковке же под прессом зерна сжимались меньше, нежели в предыдущих цилиндрах, в особенности на свободной поверхности изделия, где свободные волокна сильно изгибаются и стремятся разойтись. Вследствие этого металл получается менее плотным.

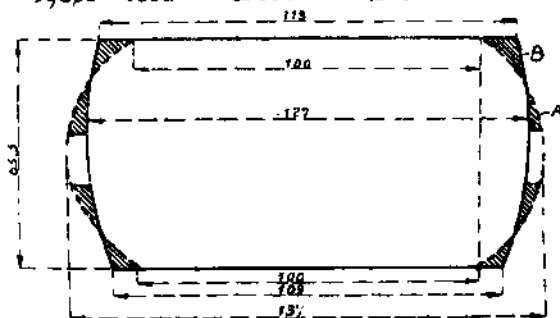
Можно, кроме того, видеть, что при прессовании части изделия, соприкасающиеся продолжительное время с инструментами, быстро охлаждаются и представляют тогда большее сопротивление, нежели их центральные части,

которые деформируются сильнее. Соприкосновение металла поковки с инструментом молота продолжается несколько тысячных долей секунды и потому почти не оказывает влияния. Вследствие этого изделие деформируется при более равномерной температуре, а следовательно дает более равномерные деформации. Последние в некоторых случаях выгоднеековки для стальных болванок, применяющихся при изготовлении полых валов и артиллерийских орудий.

Подобные результаты говорят в пользуковки под молотом, если работа под ним и под прессом производится при одинаковых условиях. Тем не менее, после отпуска и термической обработки, хорошо проведенные операции вытяжки как под прессом, так и под молотом обеспечивают те же сопротивления металла разрыву. Тем не менее не следует упускать из вида, что ковка под молотом производит резкие деформации, которые металл в состоянии выдерживать только тогда, когда он обладает достаточной текучестью. Точно так же надо иметь в виду, что отсутствие вибрации при работе под прессом позволяет обрабатывать без брака значительно менее текучие металлы, которые не в состоянии выдерживать резких ударов, в особенности при резких изменениях их сечений.

Сравнительные опыты над производством местных остающихся деформаций, при разных способах приложения давления, показали независимость закона распределения деформаций от скорости передачи усилий. Трубочатые цилиндры с многочисленными складками подтверждают это поразительным образом. Единственное влияние скорости на деформацию заключается в том, что одно и то же орудие оказывает свое действие на тем меньшую поверхность, чем больше эта скорость, при чем в этом случае размеры инструмента должны быть значительно меньше размеров поковки.

Сплошная линия обозначает контур после удара $P = 3500 \text{ кг}$ $H = 1,500 \text{ м}$



Пунктирная линия обозначает контур после сжатия под прессом при давлении 80000 кг.

Рис. 97.

Действие это тем более сосредоточено в направлении усилия, чем больше скорость и чем больше вообще живая сила.

Это механическое явление — общего характера: приложение его хорошо известно при явлениях трения, с которыми мы встретимся дальше.

Молоты и ковочные прессы больших размеров так же как и мелкие ручные и механические молоты, многочисленные эксцентриковые и другие прессы имеют каждый свое специальное назначение. На практике необходимо применять наиболее подходящую машину, так как это всегда ведет к лучшему и быстрому выполнению работы.

Заметим, что прессом уже давным-давно пользуются в гвоздильном производстве, а также при холодной или горячей ковке большого количества изделий, когда приходится действовать медленным давлением.

Точно также прессом пользуются при холодном штамповании, так как он дает меньше брака, нежели резкий удар бабы, иногда разрывающий штампуемое изделие. При горячем штамповании, наоборот, до сих пор предпочитают молот, живая сила которого нагревает металл, чем улучшается качество штампуемого в матрицах изделия.

При холодном штамповании под прессом, помимо того, что коэффициент полезного действия в смысле непосредственной затраты энергии в полтора раза выше, деформации происходят в лучших условиях и матрицы изнашиваются значительно меньше, нежели при работе под молотом, когда сжатие производится очень резко и быстро.

Прессу приписывают также большую быстроту работы, отчасти вследствие потери времени на подъем бабы, а также вследствие большей надежности управления инструментом и поковкой. Это преимущество вполне реальное и для крупных поковок имеет важное значение, так как уменьшает число нагревов и себестоимость.

Быстрота штампования под прессом цилиндрических изделий вдвое и втрое больше, нежели под молотом. Таким образом, прессом выгодно ковать крупные валы, пушки, кольца и тому подобные предметы, если сила его достаточна и действие настолько быстро, что его можно рассматривать как удар, длительность которого можно по желанию увеличивать. Мощность наиболее употребительных прессов колеблется между 1200 и 4000 тоннами; дляковки крупных изделий, потребных для судостроения, применяются прессы мощностью в 6000 тонн и больше.

Пресс, несомненно, является более точной машиной, нежели молот. Благодаря точной регулировке толщины изделия посредством измерительных индикаторов, прикрепленных к самому прессу, можно уверенно работать без потери времени на частую проверку размеров поковки. Последовательные операции производятся без колебаний, а ковка начисто может быть безукоризненно точной. Ковка кольцевых изделий на оправке производится под прессом гораздо легче, нежели под молотом, с такой же уверенностью и такой же законченностью.

Стальные цилиндры низкого давления турбин парохода „Лузитания“ были выкованы под прессом. Они выковывались из отливок весом в 42 тонны и 1,50 м диаметром. Болванки доводились до диаметра в 1,35 м, после чего просверливали отверстия диаметром 460 мм, уменьшавшие вес болванки до 27 тонн. Затем после нагрева болванка выковывалась на оправке до наружного диаметра 3,60 м при толщине 76 мм и длине 2,50 метра.

Тем не менее в смысле внешнего вида поковок пресс обладает тем недостатком, что не сбивает окалины; для выполнения этого приходится прибегать к молоту.

На больших, хорошо оборудованных сталелитейных заводах одновременно с молотом ставят пресс переменного действия и другой пресс непрерывного действия, называемый прокатным станом. Все эти машины обрабатывают одно и то же изделие последовательными операциями или выполняют отдельные работы.

Машины эти изготовляются самых различных размеров и мощностей в зависимости от обрабатываемых изделий.

✓ III. Ковочные молоты.

Типы ковочных молотов чрезвычайно многочисленны и разнообразны, вследствие разнообразия выполняемых ими работ. Мы рассмотрим эти разнообразные типы при описании отдельных процессов, здесь же коснемся нескольких типов, чтобы провести сравнение между старинными молотами и современными.

Мы не будем останавливаться над молотами и наковальнями которыми пользуются кузнецы, слесаря и механики для ручнойковки всякого рода общеупотребительных изделий небольшого размера.

Механические молоты.

Механические молоты работают непосредственно от двигателя или соединены с ним гибким приводом. Двигатели работают или паром, или воздухом, или гидравлическим давлением.

Старинные механические молоты, приводившиеся вручную, устраивались, как показано на рис. 98.

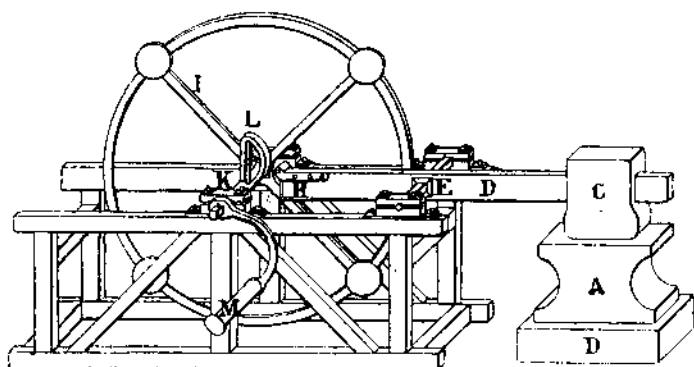


Рис. 98.

Рычаг *D* молота поворачивался вокруг горизонтальной оси *E*. На конце его устанавливался ролик *H*, на который нажимал кулак *L*, укрепленный на валу с маховиком *I* и рукояткой *M*.

Этот хвостовой молот применялся дляковки изделий средней величины и был очень распространен на заводах средней промышленности.

На крупных заводах, если не имелось в распоряжении водяной силы, молоты иногда приводились в действие несколькими рабочими

вручную и устраивались, как показано на рис. 99. Эта машина приводилась в действие шестью рабочими, тянувшими веревки, прикрепленные к спицам маховиков.

Баба *M* весила по крайней мере 200 кг.

Первый рычаг *B* упирался в верхний рычаг *R* пружиной *T*.

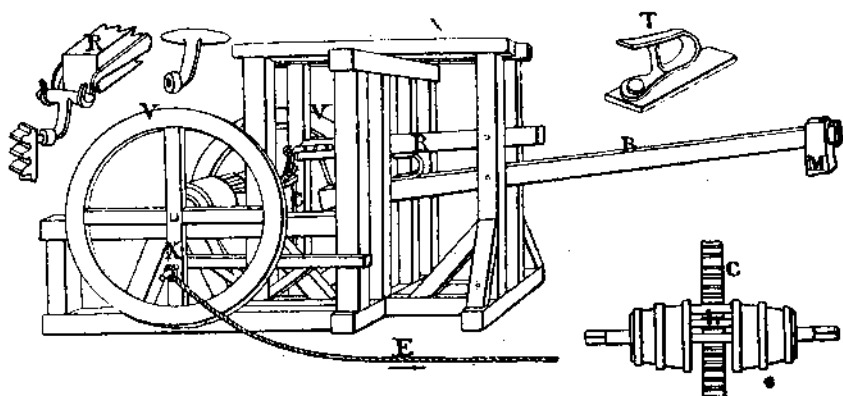


Рис. 99.

Зубчатая рейка *C* соединялась с рычагом *R* скобой. Валковая шестерня *L* попеременно сцеплена с рейкой *C*, поднимая рычаг молота. На концах вала шестерни *L* устанавливались маховики *V*.

Веревка *E* укреплялась к цапфе *X* на одной из спиц; за нее тянуло трое рабочих. Этим молотом особенно пользовались для отковки носков якорей в портовых мастерских, а также дляковки крупных изделий.

Старинные хвостовые молоты, приводимые в действие водяной силой, строились по типу, изображенному на рис. 100. Рычаг молота поднимался кулаками, установленными на валу водяного колеса. Для быстрой откидки молота применялся деревянный брус, служивший пружиной. Одним из главных недостатков лобовых и хвостовых молотов была неизменность высоты подъема бабы, отчего удар был тем сильнее, чем меньше была толщина поковки.

В первую половину прошлого века было построено большое количество молотов из чугуна, приводимых в действие вспомогательными трансмиссиями и снабженных маховиком на кулачковом валу (рис. 101—102).

Старинные качающиеся молоты были очень распространены еще в 1860 году, т.е.

20 лет спустя после изобретения парового молота. Как то можно видеть на рис. 103 и 104, такой молот приводился в действие непосредственно паровой машиной и кулачковым валом.

Самые крупные молоты были, так называемого хвостового типа (рис. 105). Они появились к концу XVIII столетия; вес бабы достигал 8000 кг, а высота падения 0,50 м. Таким образом они развивали энергию в 4000 кг.м.

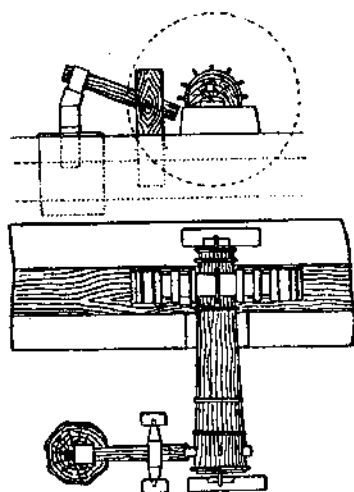


Рис. 100.

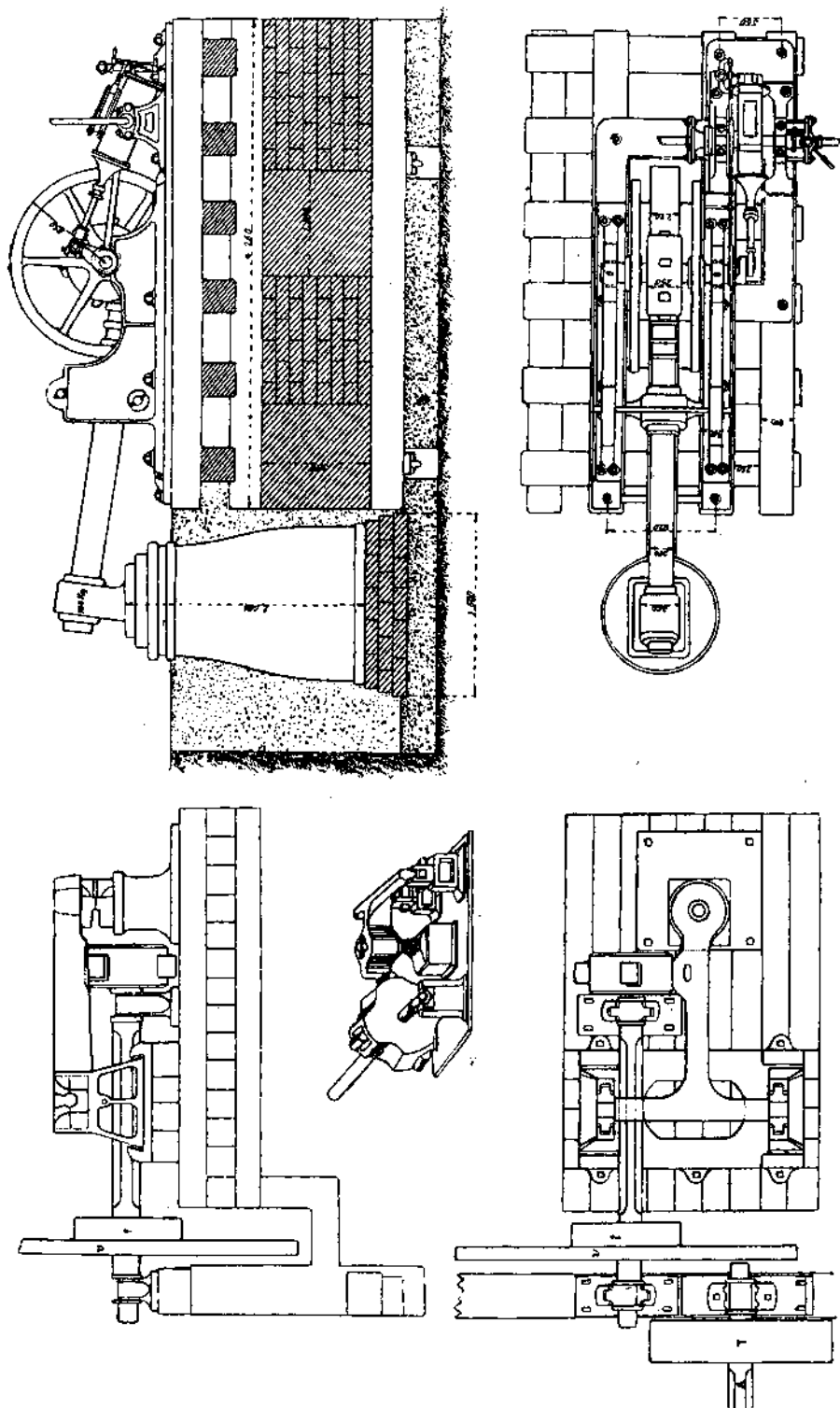


Рис 101—105.

До сих пор сохранились заводы, занятые производством специальных изделий, которые еще пользуются для вытяжки и выглаживания стальных полос хвостовым молотом. Такие устарелые молоты сохранились на них только потому, что в некоторых специальных случаях работа на них обходится дешевле, нежели с другими молотами.

Современные молоты небольших и средних размеров обычно приводятся в действие ремennым приводом и промежуточным эксцентриковым или кривошипным механизмом, соединенным с бабой пластинчатой рессорой, смягчающей реакцию на приводный механизм.

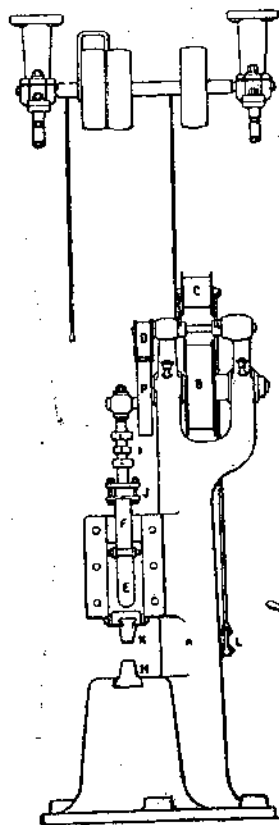


Рис. 106.

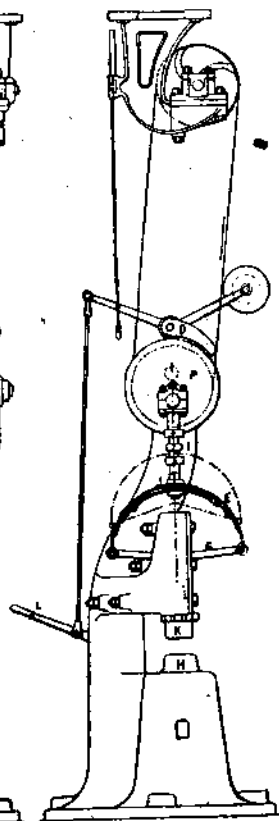


Рис. 107.

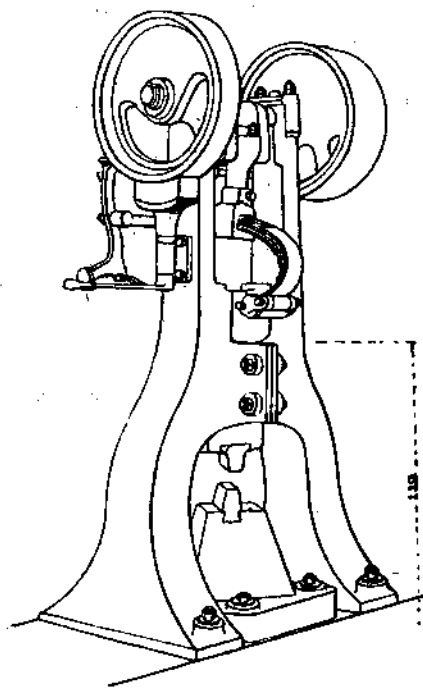


Рис. 108.

Такого именно типа молоты (рис. 106, 107, 108) строятся заводом Бухей (Bouhey) с 1878 года. Эти молоты очень распространены в мастерских машиностроительных заводов, в которых выполняются мелкие ходовые изделия. Вес ударной массы, всегда хорошо направляемой параллелями, колеблется между 10 и 125 кг. Число ударов в минуту колеблется между 500 и 150, в зависимости от веса бабы.

Молот Бутса (Booth) образца 1881 года (рис. 109) применяется дляковки всякого рода мелких изделий.

В молоте (рис. 110) Гасце (Hasse) с доскою почти совсем устранено действие вибрации на приводный механизм.

То же самое достигается в молотах Бретта (Bretts) (рис. 111, 112, 113), где баба поднимается пеньковыми канатами, соединяющими ее с приводом посредством двух рычагов, надетых вхолостую на вал

и действующих на тормозную колодку, установленную в канавке шкива большого диаметра. Шкив укреплен на валу, приводимом во вращение ременной передачей, иногда с промежуточными зубчатыми шестернями.

Зажимание и отпускание колодки производится вспомогательными рычагами и сцепными муфтами, передвигающимися по валу. Эти рычаги приводятся в действие или педалью, или автоматически, когда требуется большое количество ударов одинаковой силы. Число ударов можно регулировать, по желанию, от 80 до 100 в минуту.

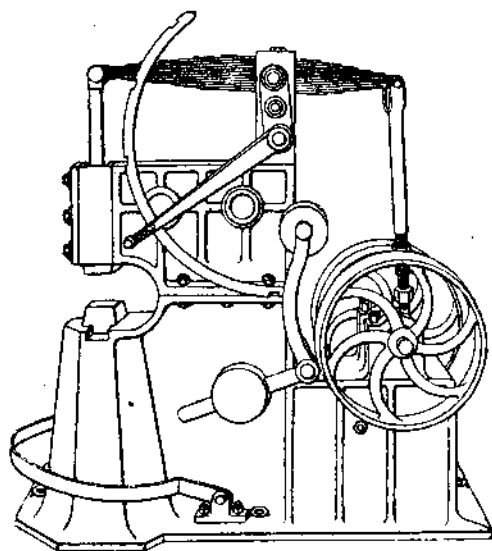
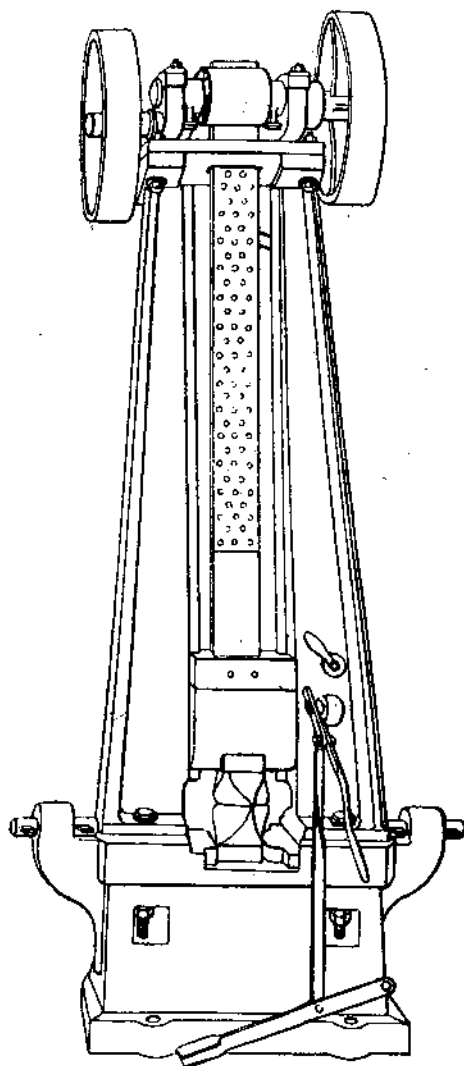


Рис. 109.



ис. 110.

Тип молота (рис. 111) строится трех размеров.

Вес бабы	кг	150	200	250
Максимальная высота падения бабы	м	0,900	0,900	1,200
Мощность	кгм	135	180	300
Общий вес	кг	4 400	5 600	7 400

молота (рис. 111—112) строится восьми размеров.

бабы	кг	25	50	100	150	200	250	300	350
Максимальная высота падения	м	0,900	0,900	1,100	1,200	1,300	1,400	1,500	1,500
Мощность	кгм	22,5	45	110	180	260	350	450	525
Общий вес	кг	1 700	2 000	3 900	5 200	6 200	7 500	9 200	10 000

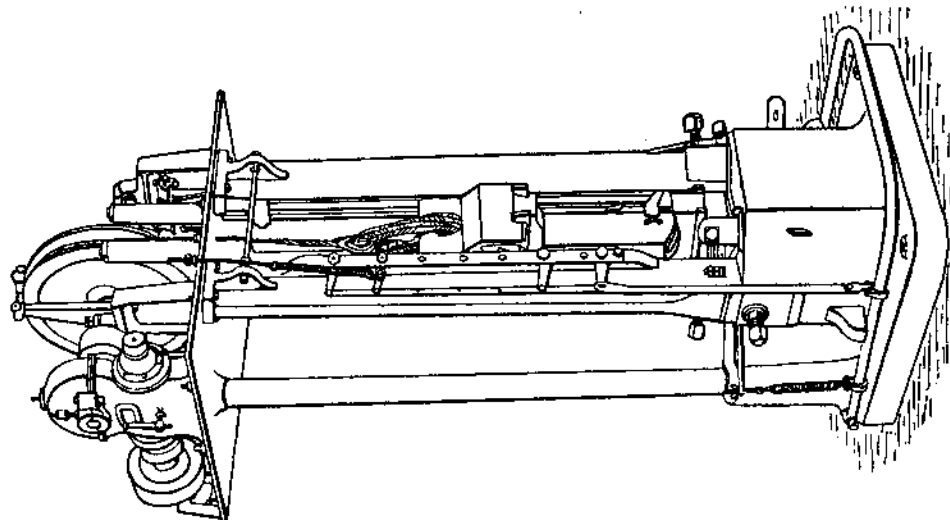


Рис. 113.

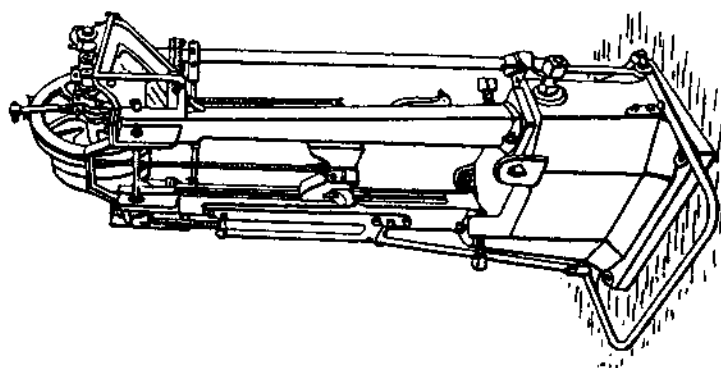


Рис. 112.

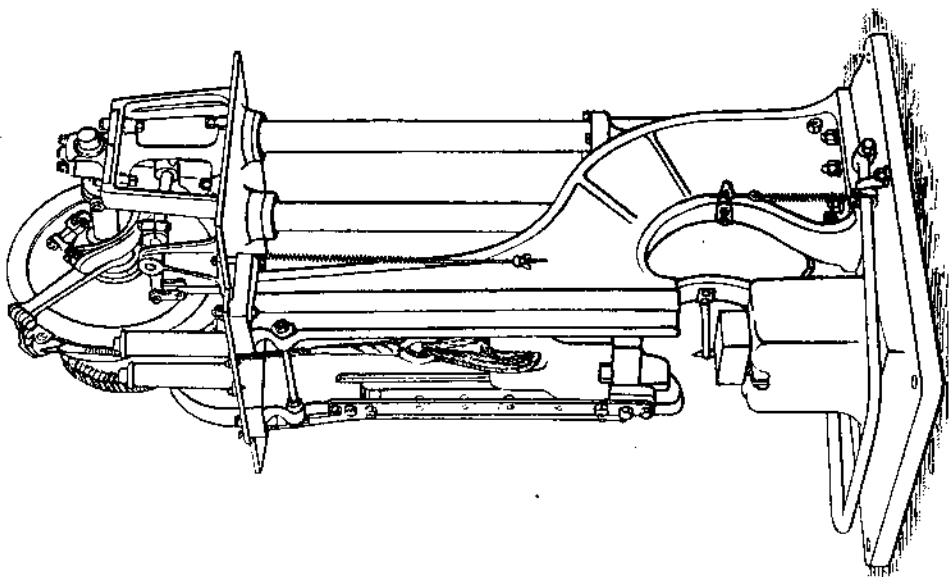


Рис. 111.

Пневматические молоты с атмосферным давлением.

В последние годы особенное распространение получили пневматические молоты. Они не без причины очень ценятся в скобяных и ножевых мастерских и во всех предприятиях, производящих ковку стали.

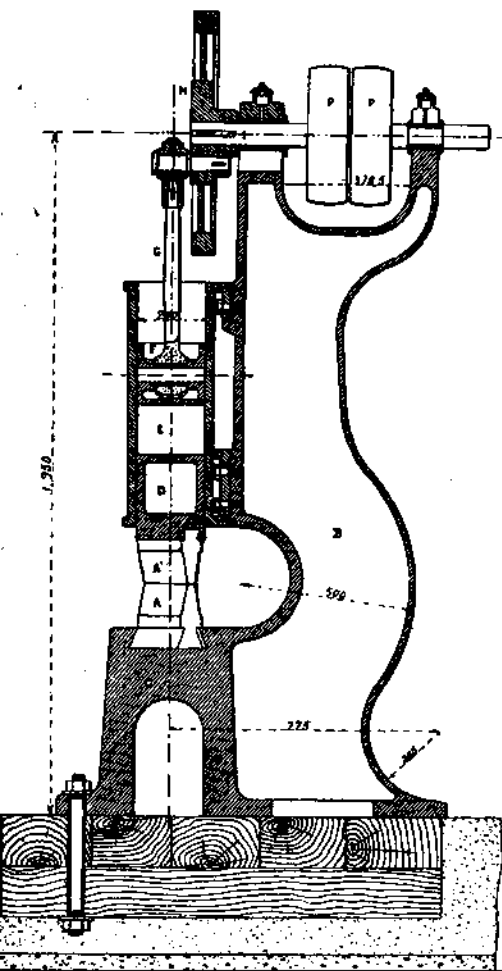


Рис. 114.

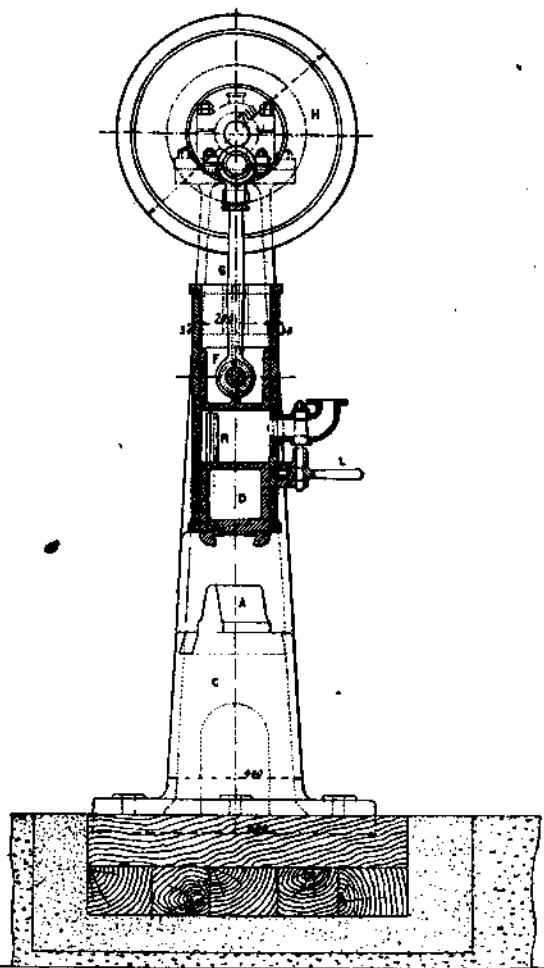


Рис. 115.

В цилиндре *E* помещается поршень—баба *D* и собственно поршень *F*, приводимый в движение кривошипным механизмом. При подъеме поршня *F* внутри цилиндра получается разрежение, вследствие которого баба *D* поднимается, при опускании поршня падает и баба.

Воздушный буфер, находящийся между бабой *D* и поршнем *F*, приводящим ее в движение, устраняет всякую передачу реакции удара приводному механизму молота. Эти молоты обладают тем большим преимуществом, что позволяют регулировать силу ударов простым поворотом крана (молот Арнса, рис. 114—116). Удары при этом можно делать весьма легкими и, по желанию, быстро доводить до максимальной силы.

Молоты Арнса строятся шести размеров. Характеристики их следующие:

Вес бабы кг.	8	12	25	40	60	90
Максимальная высота падения м	100	120	150	175	220	250
Диаметр цилиндра . мм	100	125	150	200	250	300
Число ударов в минуту .	500—600	350—450	300—400	250—300	200—250	150—200
Сторона сечения . мм	35	40	50	75	100	130
Цена, (франки, золот.) .	750	1 450	1 650	1 950	2 450	2 550

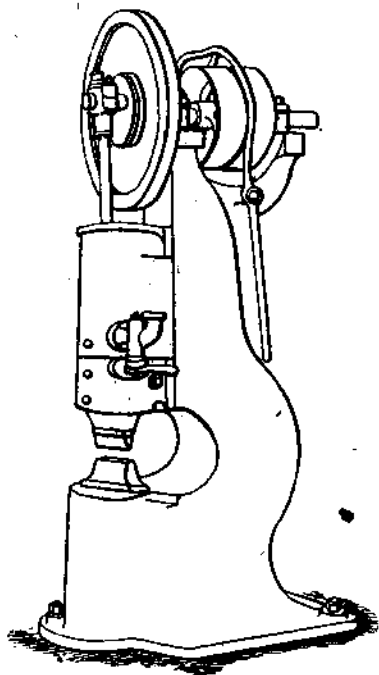


Рис. 116.

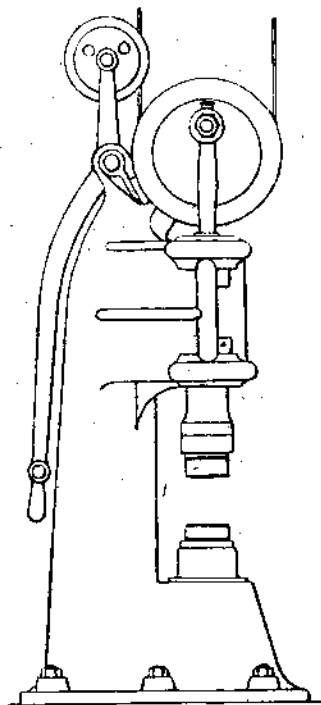


Рис. 117.

Молоты типа Шено (Chenot), рис. 117—118, строятся заводом Пиа (Piat) различных моделей с бабами весом от 25 до 200 кг, делающими от 300 до 100 ударов в минуту. Они обладают теми же положительными качествами, что и молоты Арнса.

Особенно хороши молоты с электрическим приводом (рис. 119). Пневматический молот представляет по своей гибкости прекрасную машину. Он завоевал себе место во всех сталелитейных заводах малого и среднего масштаба. Исследуя вплотную явления работы пневматического молота в связи с изменением объема воздушного буфера, можно констатировать, что этот простой с конструктивной точки зрения механизм весьма сложен кинематически и динамически. Теория этого молота ставит задачи, неразрешимые современными методами расчета даже с помощью высшей математики. Дело слишком часто обстоит так и с другими инструментами, которыми, к сожалению, мало интересуются наши ученые.

Паровые молоты.

Первый паровой молот, построенный Бурдоном (Bourdon) на заводе Крезе в 1840 г. (рис. 120)¹⁾, состоял из чугунной бабы, соеди-

¹⁾ Мемуар Бутми (Boutmy) представленный Société des Ingénieurs civils, 1884.

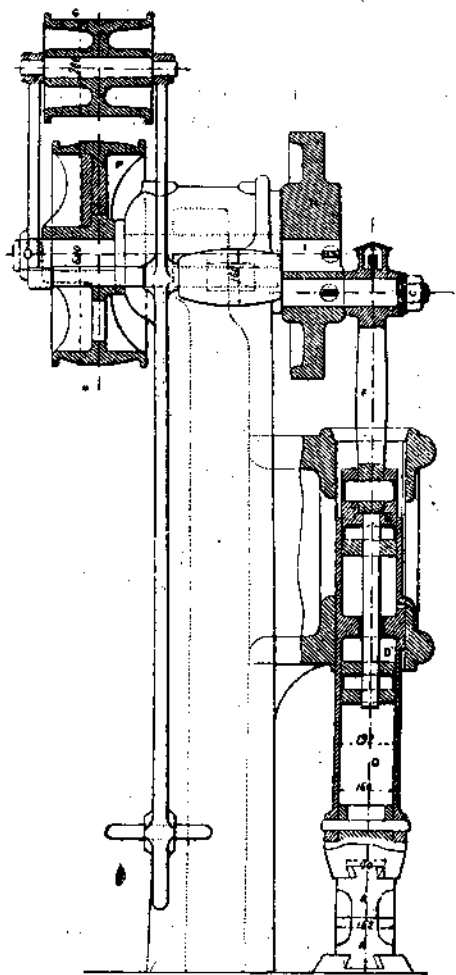


Рис. 118.

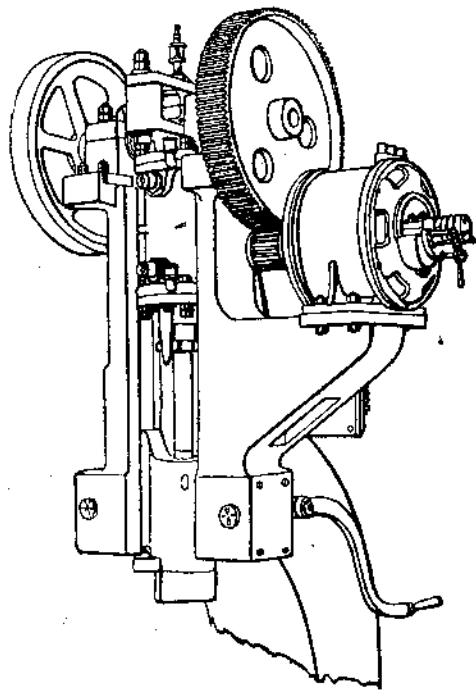


Рис. 119.

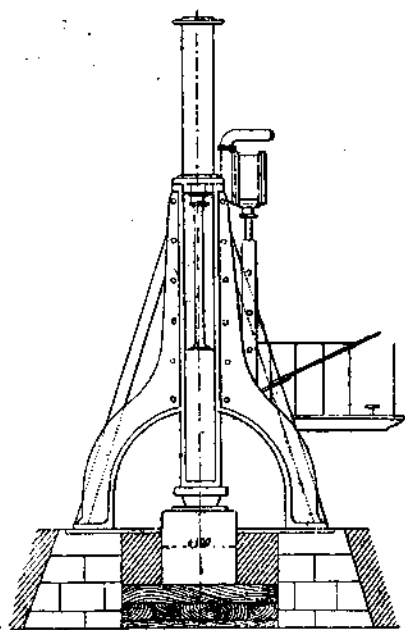


Рис. 120.

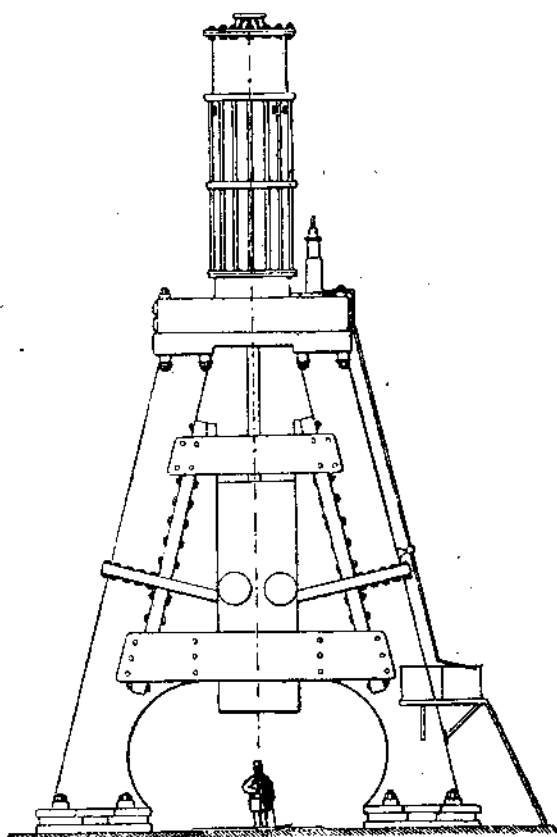


Рис. 121.

ненной скалкой с поршнем; на последний при ее подъеме действовал пар. Баба падала под действием своего веса, как только пар выпускали в атмосферу.

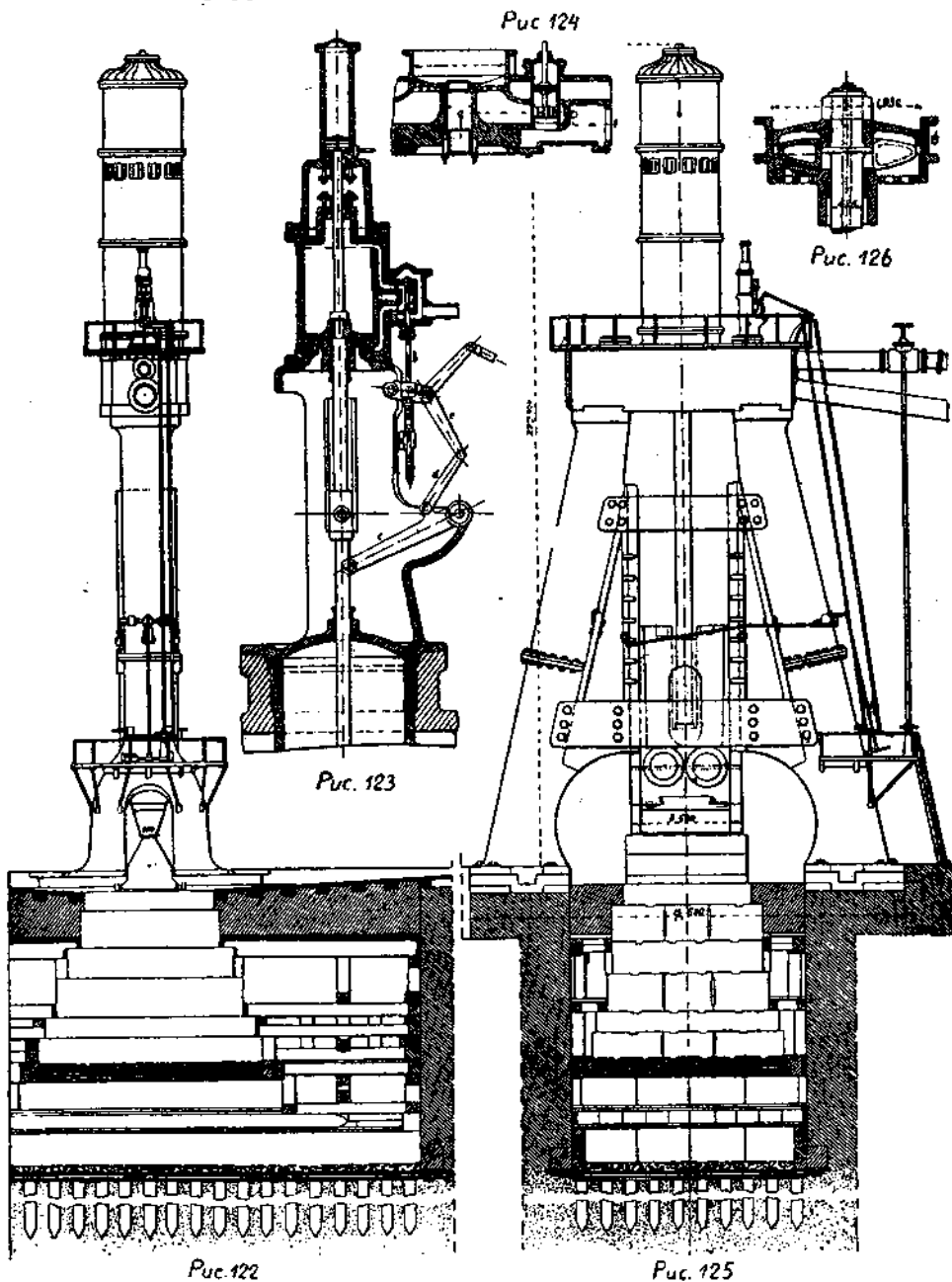


Рис. 122—126.

Распределение пара регулировалось золотником, приводимым в действие ручным рычагом.

Баба направлялась параллелями, устроенными в четырех ногах, образующих станину; поверх последней стоял на верхней связной балке паровой цилиндр. Весь молот устанавливался на каменном фунда-

менте. Наковальня была чугунной и лежала на фундаменте из деревянных брусьев, для сообщения некоторой упругости и для смягчения эффекта удара.

Баба этого молота была рассчитана для наиболее крупных поковок того времени, весила 2 500 кг, максимальная высота падения была 2 м, так что молот развивал мощность в 5 000 килограммометров.

С появлением этого молота крупные сталелитейные заводы мало-по-малу заменили им свои механические молоты, доводя его до мощности от 500 до 625 000 кг.м. Самым мощным молотом был молот Вифлеемского завода (рис. 125—126)²⁾ в Соединенных Штатах, уста-

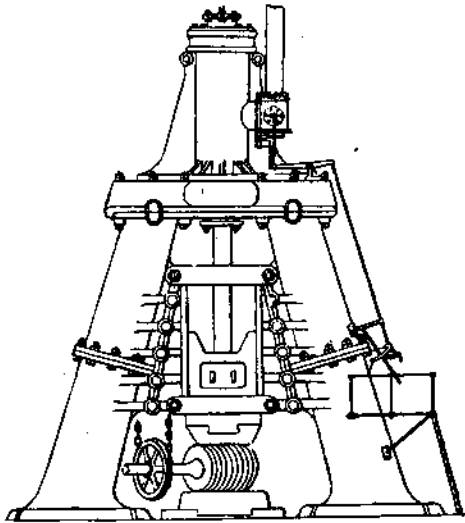


Рис. 127.

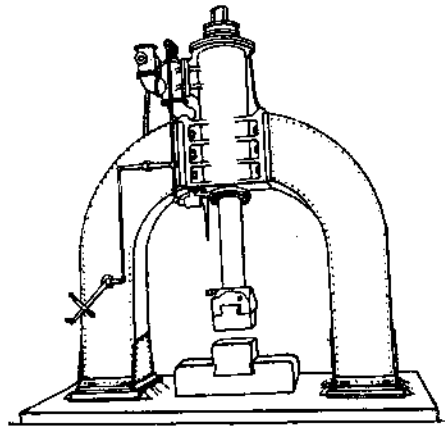


Рис. 128.

новка которого была закончена в 1893 году. Ударная часть молота весила 125 тонн, высота падения бабы равнялась 5 м и могла достигать, примерно, 6 м. Наковальня весила 2 150 тонн, т.-е. в 17 раз больше веса бабы.

Этот колоссальный молот служил для изготовления военных материалов, пушек, броневых плит и крупных поковок для флота и промышленности. Он был разобран в 1900 году вследствие его недостаточного коэффициента полезного действия и потому, что никто не ожидал, чтобы 14 000-тонный пресс значительно превзошел его в деле обработки крупных поковок.

Паровые молоты обычно характеризуются действием привода, служащего или только для подъема бабы, или также для увеличения скорости ее падения на наковальню. В первом случае молот называется молотом простого действия, а во втором—двойного действия. Молот двойного действия имеет всегда более толстую скалку, нежели молот простого действия, баба его обычно направляется параллелями, что ведет к устройству станины с двумя ногами, как, например, станина, изображенная на рис. 127.

Станина молота двойного действия имеет также две ноги, но баба направляется одной скалкой совершенно так же, как и при станинах

²⁾ „Genie Civil“, 1894, том XXIV. № 23.

с одной ногой (рис. 129). Тем не менее, у мощных молотов двойного действия бабы направляются параллелями.

При быстрой работе надо отдать предпочтение молоту простого действия и автоматическому приводу с простым механизмом, действующим на распределительные рычаги. Такие автоматические молоты делают до 500 ударов в минуту (рис. 130).

Автоматические молоты обычно снабжаются механизмом для управления, посредством которого, поворотом одного рычага, можно получить автоматическую работу молота и точно регулировать силу ударов. Этим же механизмом можно перевести молот с работы простым действием на работу двойным действием. Кроме того, рабочий может управлять молотом вручную, делая один или ряд ударов с небольшой скоростью, и удерживать молот в поднятом состоянии при

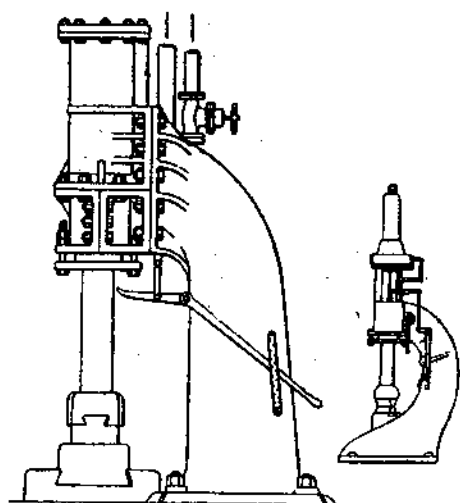


Рис. 129—130.

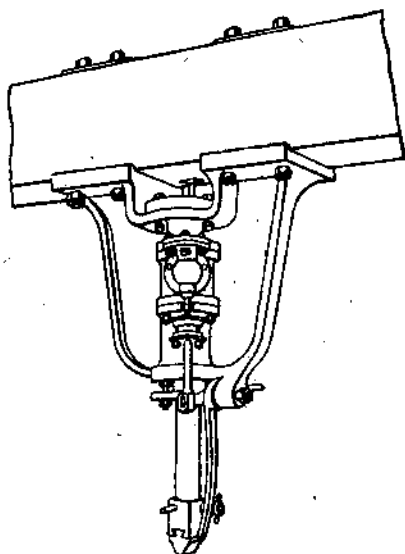


Рис. 131.

укладке или повороте поковки на наковалье. При этих условиях молотом так же легко управлять, как и обыкновенным ручным молотом.

Можно видеть, что паровой молот обладает всеми достоинствами хорошей машины, а именно: простой конструкцией, большими изменениями мощности, скорости и прекрасной управляемостью.

Приведенные здесь рисунки изображают молоты, применяемые для обычных ковочных работ, так как ковка специальных изделий как, например, кольцевых предметов большого диаметра требует сильного раздвиг ног станины.

Иногда, как на рис. 131, молот небольшого размера подвешивается к горизонтальной балке, отчего все пространство под ним остается свободным.

Иногда молот устраивается с поворотной станиной, вследствие чего его можно поворачивать вокруг вертикальной оси. Молот, изображенный на рис. 133, имеет очень сильно раздвинутые ноги и служит для обработки изделий большого диаметра.

Паровые молоты иногда строятся также горизонтальными (рис. 134), чем в некоторых случаях облегчаются операции.

Кроме пара, движущей силой может быть сжатый газ, например, воздух или взрывчатая газовая смесь как в молоте Робсона (рис. 135).

Широкое распространение получил молот, действующий сжатым воздухом под давлением от 6 до 7 кг. Он очень экономичен и обладает другими ценными достоинствами. В качестве резервуара для сжатого воздуха иногда, как это сделано в молоте Массея, пользуются его же станиной и собственным компрессором, приводимым в действие при весе бабы до 1500 кг электромотором. В молотах Бреттса (рис. 136) с гибкой связью между бабой и приводным механизмом последний приводится в действие качающейся паровой или пневматической машиной. На рис. 137 изображен вал *В*, снабженный лопаткой, на которую действует струя воздуха, а рычаг соединен с бабой

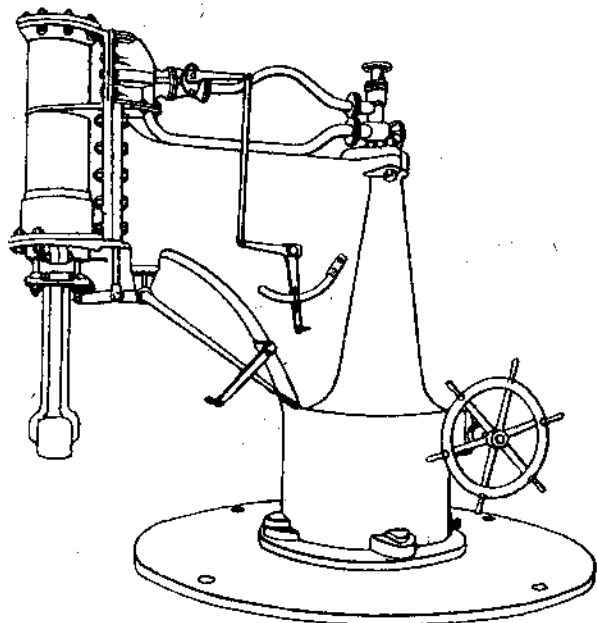


Рис. 132.

на которую действует струя воздуха, а рычаг соединен с бабой канатом, делающим несколько шлюгов. При подъеме бабы, который соот-

ветствует повороту вала *В* приблизительно на 270° , канат ложится на холостой шкив, направляющий бабу вертикально как при подъеме, так и при падении.

Впуск и выпуск пара или воздуха регулируются цилиндрическим золотником, приводимым в действие ручным рычагом или автоматически (рис. 138). Золотник позволяет также поддер-

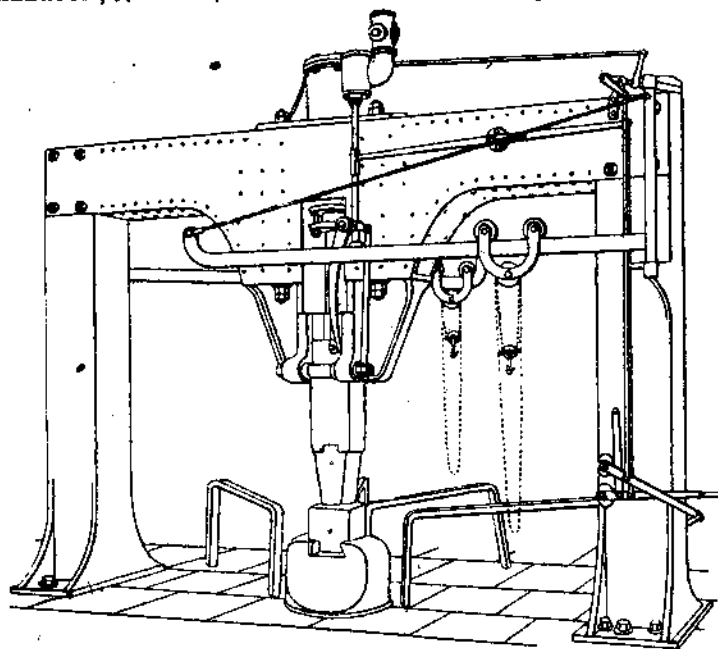


Рис. 133.

живать на обеих поверхностях лопатки одинаковое давление, удерживая бабу в любой точке ее подъема.

Установка мотора на балках изображена на рис. 139.

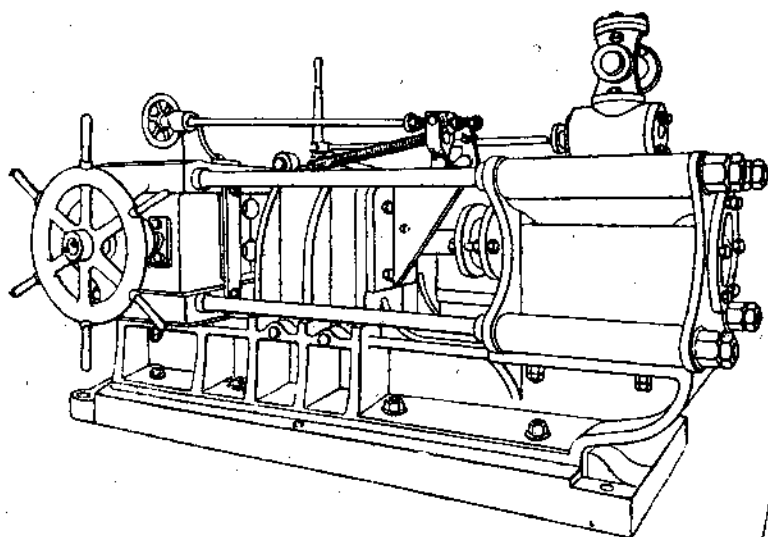


Рис. 134.

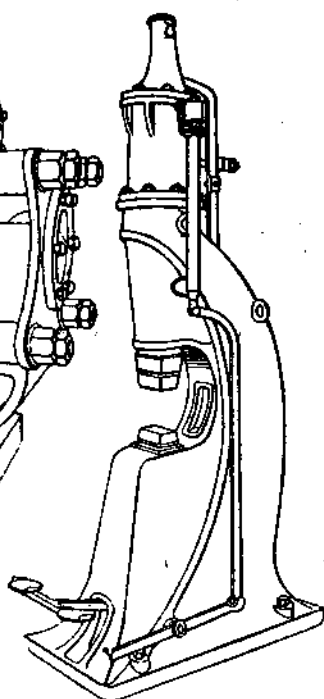


Рис. 135.

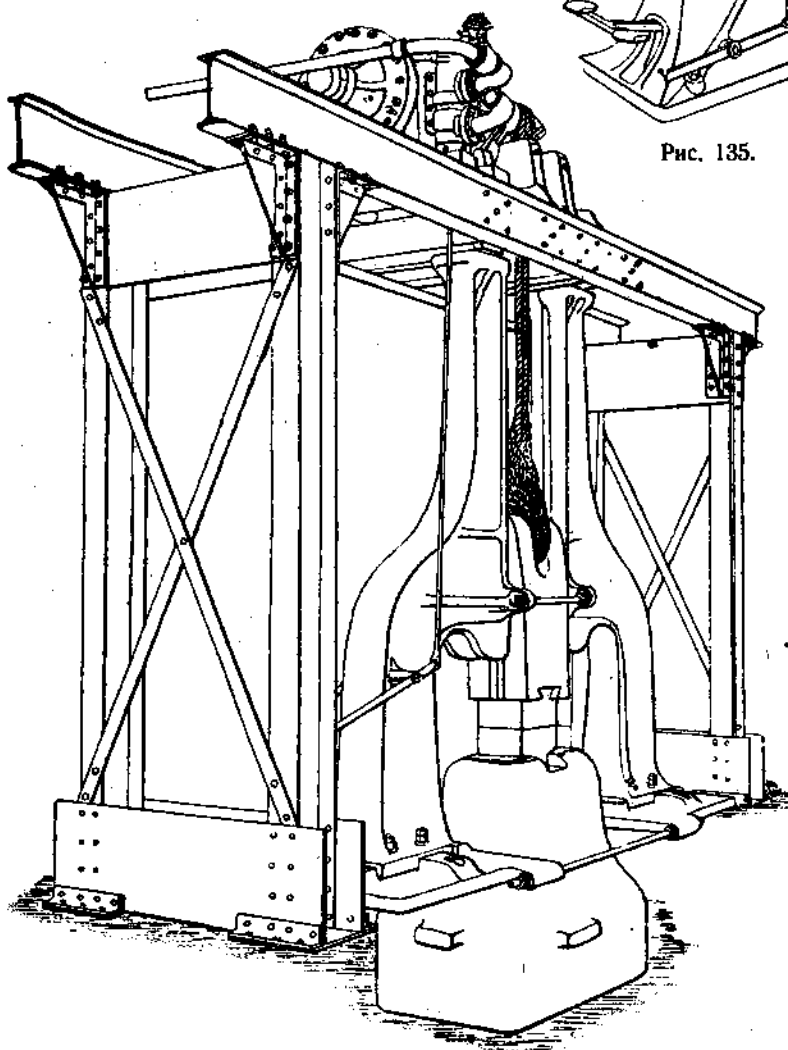


Рис. 136.

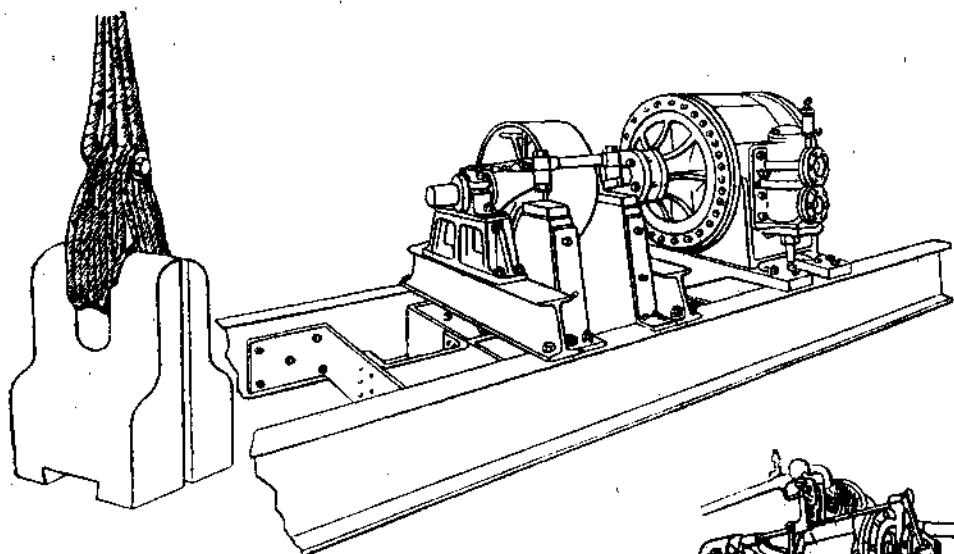
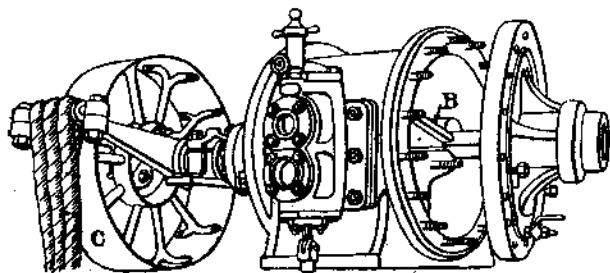


Рис. 137—138.

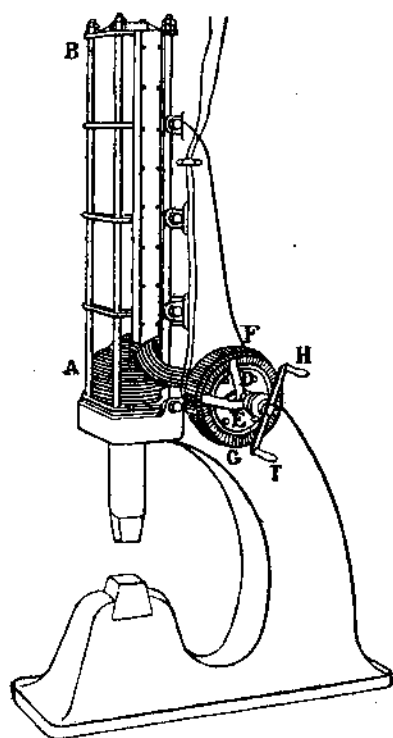


Рис. 140.

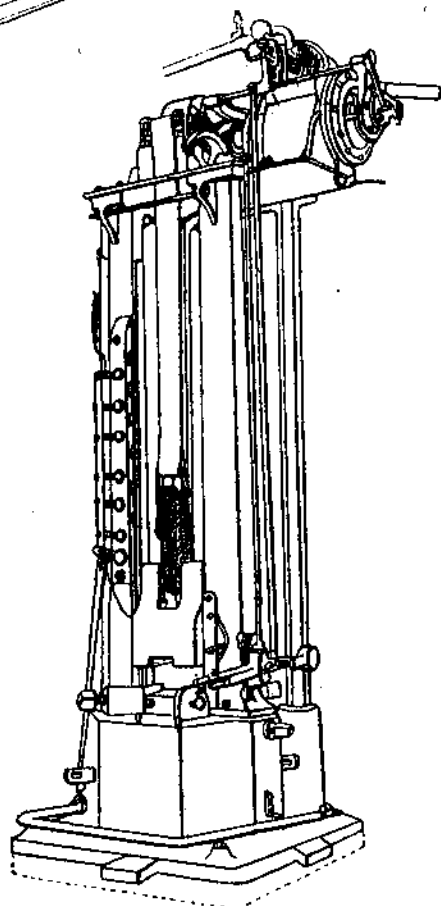


Рис. 139.

Тип не автоматического молота, изображенный на рис. 136, строится следующих пяти размеров:

Вес бабы	кг	1 250	1 500	1 750	2 000	2 500
Высота падения	м	1,200	1,200	1,300	1,500	1,500
Мощность	кз.м	1 500	1 800	2 275	3 000	37 000
Общий вес	кг	24 000	27 000	32 000	37 000	44 000

Молот, рис. 138, автоматического типа строится четырех размеров:

Вес бабы	кг	125	200	250	350
Высота падения	м	1,400	1,400	1,400	1,500
Мощность	кз.м	175	280	350	525
Общий вес	кг	4 500	6 500	7 700	10 000

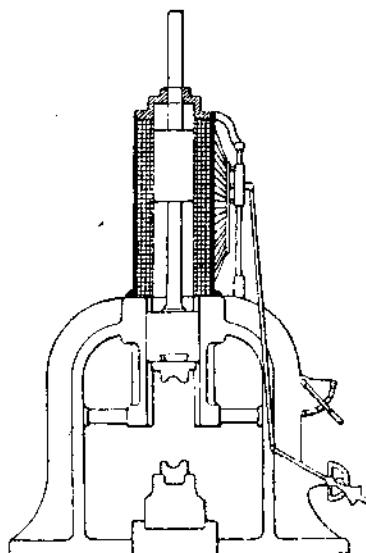


Рис. 141.

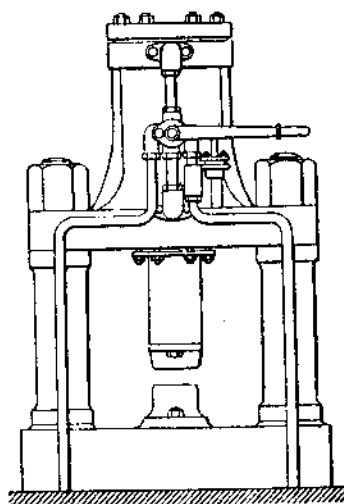


Рис. 142.

Марсель Депре (Marsel Deprez) в 1882 г. применил к подъему баб электрический соленоид (рис. 140). Гибкость такого молота поразительна. Более новым из них является молот Ван-Депозеля (Van Depoele) с двумя ногами (рис. 141), действующий также соленоидом (1890 год).

Гидравлические молоты.

Для приведения в действие молотов, действующих сравнительно быстрыми ударами и вместе с тем медленным непрерывным давлением, пользуются гидравлической энергией. Сочетание ударов с медленным давлением очень выгодно при некоторых работах, так как в этом случае можно доводить поковку до требующейся толщины, вследствие легкости регулировки длины хода бойка.

Первый гидравлический молот был построен Гильемином и Минари (Guillemin et Minary) в 1851 году. Другие попытки построить молоты этого типа не оправдали ожиданий их конструкторов, среди которых можно назвать и Бурдона. Идея эта возродилась в последние годы, и целый ряд заводов разработал несколько гидравлических молотов или, скорее, комбинированных молотов-прессов, давших более чем удовлетворительные результаты.

Устройство подобных комбинированных молотов-прессов очень сходно с устройством обычного пресса, как то можно видеть на рисунке 142, где изображен молот Хиггинсона (Higginson), и на рисунках 143 и 144, изображающих молот Аллена, довольно позднего происхождения, на котором мы несколько остановимся.

Гидравлический комбинированный молот-пресс Аллена.

Молот-пресс Аллена в исполнении завода Галловей (Galloway) в Манчестере, изображенный на рис. 143 и 144, состоит из цилиндрической бабы *M* с бойком *F* формы, соответствующей производимой работе. Эта баба, служащая вместе с тем поршнем цилиндра *C*, приводится в действие гидравлическим давлением, развиваемым двумя

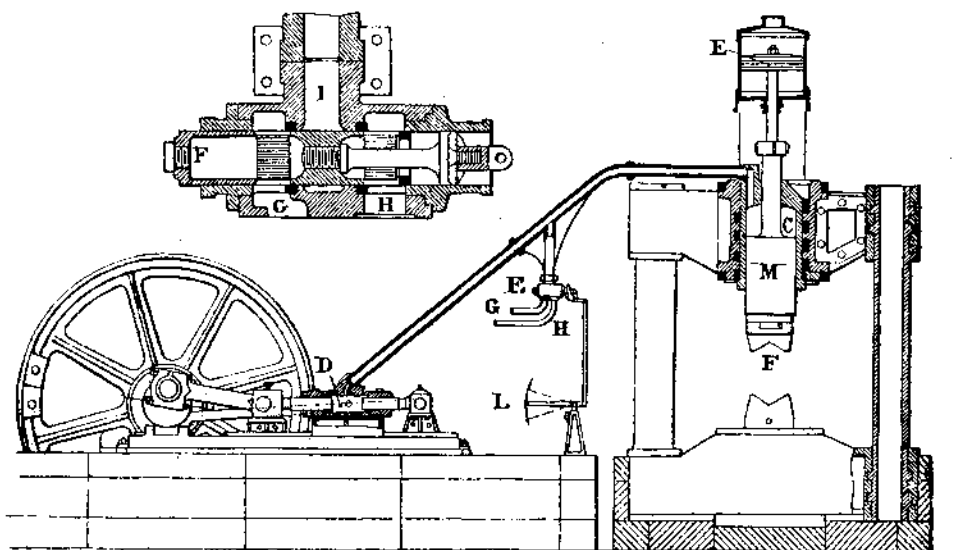


Рис. 143—144.

действующими одновременно насосами, отливная сторона *D* которых постоянно сообщается с цилиндром *C*. Насосы вызывают быстрое движение бабы, которая поднимается кверху, давлением пара на нижнюю поверхность поршня *E*, прикрепленного к скалке бабы. Вследствие этого вода из цилиндра *C* всасывается насосом *D*, когда поршни его расходятся, и до тех пор пока количество воды не изменится, баба опускается всегда на одну и ту же величину, позволяя таким образом доводить изделие до требуемой толщины.

Для регулирования высоты опускания бабы, достаточно изменять объем воды в цилиндре *C*, уменьшая его для увеличения расстояния между бойком и наковальней. Этим увеличивается объем пара в верхнем цилиндре. Для уменьшения этого расстояния нужно увеличивать объем воды, что уменьшает объем пара в нижней половине цилиндра.

Трехходовой золотник *F* (рис. 144) позволяет легко регулировать объем воды в цилиндре *C*, посредством рычага *L*. Ход *I* золотника сообщается с соединительной трубой, ход *H*, со всасывающей трубой, а ход *G* — с выпускной трубой.

Добавление воды должно производиться в то время, когда поршни расходятся. Кроме того, необходимо ставить золотник в среднее положение так, чтобы он только наполовину закрывал отверстия прежде, чем баба коснется изделия, так как в противном случае объем воды уменьшится.

Действуя рычагом *L*, регулируют действие золотника, что позволяет достигнуть точности работы молота. Бабу можно остановить мгновенно в любой точке ее падения. При каждом ходе бабу можно заставить опуститься ниже или выше в зависимости от условий работы.

Насосы снабжены предохранительными клапанами, устанавливаемыми на максимальное требующееся давление. Ход поршня 73 мм, диаметр 762 мм, вследствие чего при давлении в 473 кг/см² молот-пресс развивает мощность в 1700 тонн.

Этот молот-пресс особенно пригоден дляковки цилиндрических валов, так как после того, как он раз установлен на заданную высоту поковки, остается только равномерно передвигать последнюю. Этот молот может делать от 20 до 40 ударов в минуту в зависимости от выполняемой работы. Первый такой молот был установлен на сталелитейном заводе Бессемер и К^о 1).

1) Мы не можем задерживаться на описаниях многочисленных молотов, конструкции и характеристики которых приведены в нашем труде „Arts mécanique, Outils et machines outils pour le travail des métaux“.

ГЛАВА III.

Главные применения процессов прессования иковки ударами.

Медленные и быстрые давления обычно применяются при всякого рода кузнечных работах и дают начало различным процессам, характеризующимся формой применяемых инструментов и формой изделий.

Эти операции таковы: обжимка и ковка криц, вытяжка, выглаживание, выравнивание, высадка, ковка на оправках, ручное штампование, ковка в матрицах, клепка, чеканка, сварка и пробивка.

К ним можно добавить, как вспомогательные операции, отрезку зубилом, отрезку ножницами, продольную разрезку листов и полос, а также пилку и резание дисками.

Обжимка криц.

Обжимка криц заключается в изготовлении болванки из вышедшей из пудлинговой печи крицы, которую обжимают для удаления из нее шлаков и окалины. Работа эта производится под рычажными прессами или скизерами (рис. 145). Крица помещается между губами этого пресса. Последний, действуя прерывисто, позволяет рабочему поворачивать крицу, подставлять ее под пресс во всех направлениях, и придавать ей грубо призматическую форму. Губы пресса расширены и покрыты надежными ребрами, развивающими реакции во всех направлениях, увеличивая тем самым общую сумму давлений при данном передаваемом прессу усилии. Пресс работает плавно, без ударов, и воздействует на металл, как только верхняя губа начинает свое нисходящее движение. В начале работы крица обладает наибольшими поперечными размерами, металл ее имеет высокую температуру. Поэтому крицу сначала подкладывают ближе к наружному краю губы. К концу операции, когда поперечные размеры крицы уменьшаются и падает температура, вследствие чего сопротивление деформации увеличивается, ее подвигают ближе к оси качания рычага для того, чтобы реакция действовала на более короткое плечо последнего. Таким образом, пресс используется вполне рационально и экономично.

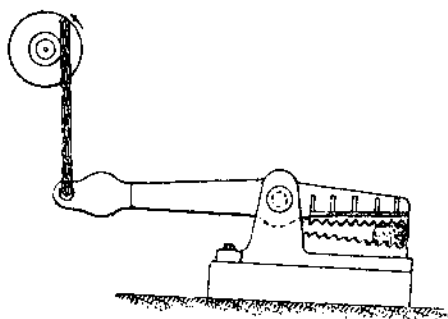


Рис. 145.

Так как сопротивление крицы очень неравномерно, то мощность такого пресса можно рассчитать только применительно к частному случаю, как, например, к случаю обжимки шаровой крицы, дающей полную реакцию P , являющуюся равнодействующей местных реакций, прилагаемую на расстоянии L от оси качения (рис. 146). Если мы назовем через P' силу действующую на плечо L' рычага, через P_1 — реакцию на ось при радиусе r , а через f коэффициент трения, то имеем следующую зависимость: $P'L' = PL + Pfr$, позволяющую определить каждое из усилий P и P' , как функцию других величин. При опыте можно измерить значение силы P' и рассчитать реакцию P . Пресс должен работать медленно, во избежание возникновения значительных сил инерции. При каждом движении рычага значение P в период контакта изменяется от нуля до максимального значения, соответствующего наиболее низкому положению рычага. Площадь

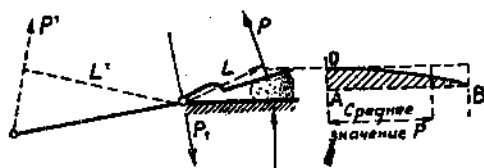


Рис. 146—147.

ОАВ (рис. 147) изображает механическую работу за время опускания рычага. В этой диаграмме ОА представляет путь, пройденный точкой приложения силы P , а различные значения P равны соответствующим ординатам, параллельным линии АВ. Допустим, что на поверхность крицы, равную

$0,100 \times 0,200 = 0,02 \text{ м}^2$, действует среднее давление в 4 кг на квадратный миллиметр. Если ОА равняется 0,10, то среднее усилие P будет равняться 80 000 кг, а работа 8 000 кг. м.

Так как рабочие поверхности пресса покрыты ребрами (рис. 148), то реакции действуют в различных направлениях и производят более сильный эффект, так как сумма всех нормальных реакций больше равнодействующего усилия p . Чтобы выяснить влияние клиновидной формы ребер, рассмотрим одно из них (рис. 149) с симметричными гранями, образующими между собой угол α . Сила p вызывает две реакции p' . Эти реакции равны $2p' = \frac{p}{\sin \frac{\alpha}{2}} > p$. Сумма $2p'$ тем

больше силы p , чем меньше угол α .

При $\alpha = 180^\circ$ обе реакции слагаются в одну равную p .

При значениях α свыше 60° , p' меньше p , но сумма $2p'$ все же больше p . Таким образом, если сопротивление материала меньше p' , то полезное усилие направлено по двум направлениям, составляющим между собою угол. Если бы материал не уступал действию усилия p' , то клиновидная форма ребра была бы нецелесообразной. Если усилие p достаточно, чтобы оказать полезное воздействие, то необходимо, чтобы плоская поверхность крицы приходилась между двумя гранями (рис. 151). В этом последнем случае, для достижения одинаковых давлений во всех трех направлениях, угол α должен равняться 60° (рис. 150). Если угол α меньше 60° , то каждая из реакций p' становится больше p .

Таким образом, при угле $\alpha = 45^\circ$,

$$2p' = \frac{p}{0,383} = 2,6 p.$$

Отсюда вытекает, что для развития равных давлений, нормальных трем опорным поверхностям и, следовательно, дающих одинаковое

сжатие в направлениях усилий p и p' , необходимо, чтобы угол α равнялся 60° . В этом случае:

$$2p' = \frac{P}{\sin \frac{60^\circ}{2}} = \frac{P}{\frac{1}{2}} = 2p; p' = p.$$

На практике никогда не делают угла α менее 60° во избежание острых выступов, вызывающих складки на поверхности металла.

Работа сжатия на протяжении небольшого перемещения l при постоянных и равных значениях p и p' и при угле $\alpha = 60^\circ$ будет:

$$W = pe + 2p'e = 3p'e.$$

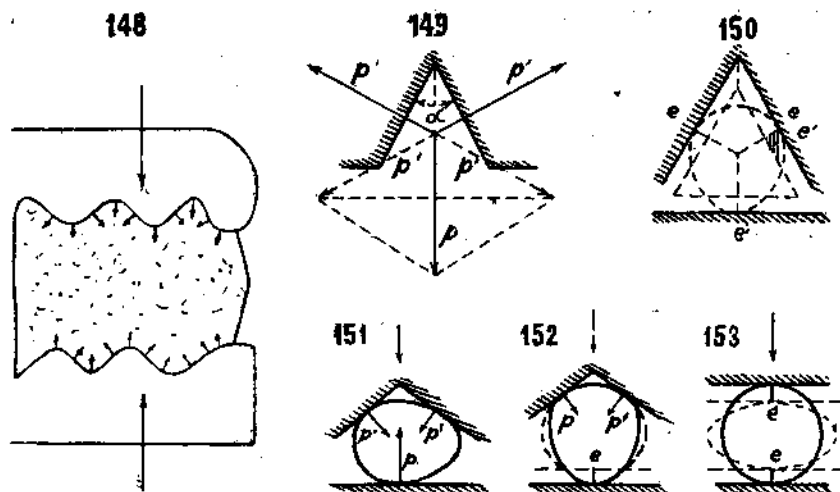


Рис. 148—153.

Если опорная поверхность неподвижна, а подвижная часть пресса перемещается вертикально на величину $3e$, то, как то можно видеть на рис. 150, нормальное к поверхности ребра перемещение будет:

$$e' = \frac{e}{\sin \frac{\alpha}{2}} = 2e.$$

Так как опорная горизонтальная поверхность неподвижна, то крица сжимается об нее на величину e и это перемещение складывается с перемещениями e' , вследствие чего полное перемещение инструмента равняется $3e$. Если усилия p' , которые предполагаются меньше p , недостаточны для перемещения металла, то усилие p вызывает сплющивание e (рис. 152) и полезная работа понижается до значения: $W = pe$.

Если вместо ребра клиновидного сечения взять плоскость (рис. 153), то она производит работу сплющивания крицы равную: $W = 2pe$.

При плоских поверхностях сжатие значительно сильнее, нежели при ребристых поверхностях, реакции которых сжимают металл к центру крицы, придавая ему большую однородность и вызывая продольные сдвиги. Ребра, кроме того, не позволяют крице выскользнуть под давлением наклонных друг к другу губ пресса.

Ковка криц.

После того как металл достаточно уплотнен обжимкой, он подвергается проковке. Для этого пользуются бабами и наковальнями с плоскими или слегка вогнутыми от изнашивания рабочими поверхностями, чтобы давления одновременно вызывали сварку друг с другом частиц металла и выжимали шлаки. Удары должны быть достаточно сильными, чтобы вызывать большие внутренние силы, выталкивающие шлаки из средних частей крицы. Слишком сильный удар может раздавить крицу, разрушив связь между частицами металла. Слишком маленький молоток при сильном ударе может сам проникнуть в толщу металла. Такой молоток вызвал бы только местную деформацию. Сильный и медленный удар действует подобно давлению прессы, но удаление шлаков происходит хуже, нежели под резкими ударами бабы,

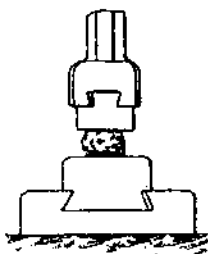


Рис. 154.

снабженной бойком достаточных размеров (рис. 154), чтобы придавать крице форму параллелепипеда.

Кричное железо в настоящее время почти совершенно оставлено, а вместе с тем отошел в область преданий и процесс его обработки. Кричное железо пудлинговых печей заменено теперь литым железом и стальными отливками.

II. Вытяжка.

Вытяжка имеет целью удлинить изделие и уменьшить его поперечные размеры. Вытяжка применяется или для того, чтобы придать поковке окончательную форму, или для изготовления грубо призматической заготовки. При более или менее сильной вытяжке металл становится плотнее, однороднее, сопротивление — вязкость и текучесть его возрастают. Контроль этих свойств металла производится общепринятыми методами испытаний.

Кузнец обычно заинтересован в том, чтобы произвести минимальную вытяжку болванки, достаточную для достижения желательных качеств металла. При производстве значительного количества одинаковых изделий, как, например, вагонных осей, необходимо производить предварительные испытания сопротивления металла, изготовляя некоторое количество контрольных экземпляров. Вообще сильная вытяжка улучшает качество железа, стали и меди, если только металл хорошей выработки. Но если качество металла оставляет желать лучшего, вытяжка ведет, напротив, к его ухудшению.

Вытяжку следует вести, действуя инструментом попеременно на противоположные поверхности поковки и не слишком отклоняясь от квадратного сечения при малых или средних размерах болванки, или от восьмигранного при больших сечениях. Необходимо, чтобы сечение было возможно ближе к круглому, обладающему наименьшей поверхностью при том же объеме. В большинстве случаев такое сечение является целью операции. При каждом ударе инструмента происходят сдвиги металла по всем направлениям. Высота поковки уменьшается, и она расширяется в продольном и поперечном направлениях. Полезное расширение изделия продольное, а потому необходимо найти способ увеличения его до максимума. Прекрасным способом является одно-

временная ковка или одновременное прессование всех четырех поверхностей болванки. Так как поперечные сдвиги металла направлены всегда к центру поковки под некоторым углом к удару или давлению, то металл, не имея возможности расширяться в стороны, вытягивается в длину. Молоты и прессы с несколькими инструментами, действующие на все четыре поверхности поковки, мало пригодны для разнородных работ, вследствие чего этот весьма рациональный процесс не получает значительного распространения.

Полезное действие при вытяжке зависит от формы бойка, от формы наковальни, от силы ударов и ковкости металла.

Если боек имеет острые кромок, если его лицевая поверхность уже ширины поковки, если наковальня широкая и плоская, то удар или давление ведут к образованию углубления и вызывают сдвиг металла больше в ширину, нежели в длину, и в тем большей степени, чем толщина поковки относительно больше ее ширины. Чтобы избежать образования на поверхности металла складок, рабочая поверхность бойка должна быть достаточно длинна, чтобы действовать на всю ширину поковки, и достаточно широка, чтобы давление воздействовало на значительную площадь. Боек не должен слишком глубоко проникать в металл и образовывать углубление с острыми краями, которые трудно выравниваются.

Работать необходимо в несколько приемов без чрезмерных сжатий во избежание трещин. Относительное сжатие обычно меньше 0,30, т.-е. меньше одной трети первоначальной толщины поковки. При больших болванках сжатие колеблется между 0,1 и 0,2.

Никогда не следует также увеличивать поверхности контакта бойка в направлении вытяжки, так как получается низкий коэффициент полезного действия и требуются значительно большие усилия. Для определения влияния поверхности контакта бойка на величину усилий, потребных для производства определенных деформаций, в особенности при обработке изделий малой толщины, нужно произвести опыты над сжатием цилиндров.

При сжатии под прессом свинцовых дисков различных диаметров и толщиной 5 мм, в тот момент, когда сжатие достигает 0,5 мм, нами были получены следующие значения:

Первоначальный диаметр диска мм	10	20	30	40	50	60	80	100
Диаметр при сжатии на 0,5 мм	10,5	21,5	31,6	42,15	52,7	63,3	84,3	105,2
Полные давления в кг	90	800	2900	6100	11000	17800	33800	49800
Давления в кг на мм ² сечения	1,04	2,2	3,7	4,4	5,02	5,70	6,05	6,75

Таким образом, в пределах этих диаметров давления на мм² могут изменяться от 1 до 6,75 кг.

Поэтому, если ширина и длина рабочей поверхности бойка одинаковы, то давление должно быть больше, чем в том случае, когда ширина бойка меньше его длины при той же самой поверхности соприкосновения. При больших поверхностях соприкосновения, приближающихся к кругу или к квадрату, материал задерживается больше, так

как трения при перемещении металла в разных направлениях значительно выше. Так как давления, как уже говорилось в первых главах, зависят от толщины поковок, то при воздействии на толстые изделия узкими бойками достаточно небольших усилий, но деформация в этом случае будет только поверхностной.

Для получения достаточных давлений, вызывающих некоторое вздутие боковых поверхностей, надо пользоваться бойками достаточной ширины, требующими большого давления на единицу поверхности, а следовательно и большого абсолютного усилия.

Таким образом, широкие инструменты, сильнее сжимающие металл, более пригодны для сварки, тогда как более узкие — для вытяжки.

При плоских рабочих поверхностях бойка действующие давления направлены нормально к поверхностям поковки. Такие инструменты

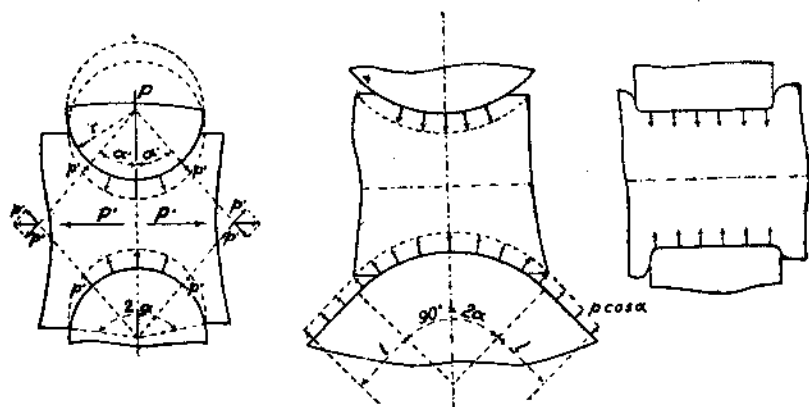


Рис. 155—157.

менее пригодны для вытяжки, нежели выпуклые, дающие направленные под углом реакции и продольные составляющие (рис. 155). Последние тем больше, чем меньше радиус кривизны и чем ближе дуга контакта к углу в 90° .

Действительно, если допустить, что при углублении в металл силы, нормальные к поверхности бойка, пропорциональны элементарным нормальным перемещениям, то реакции на единицу поверхности пропорциональны косинусу угла α' и связаны друг с другом уравнением

$$\frac{p}{p'} = \frac{\cos 0}{\cos \alpha'}; \text{ откуда } p' = p \cos \alpha'.$$

При $\alpha' = 90^\circ$ реакция равняется нулю и достигает наибольшего значения равного p при $\alpha = 0$.

Сумма реакций на всю рабочую поверхность инструмента шириной b при радиусе r дуги контакта 2α будет:

$$\int_{-\alpha}^{+\alpha} p' r b \cdot d\alpha' = p b r \int_{-\alpha}^{+\alpha} \cos \alpha' \cdot d\alpha' = 2 p b r \sin \alpha.$$

Сумма проекций реакции рабочей поверхности бойка на ось последнего дает давление

$$P = \int_{-\alpha}^{+\alpha} b p' r \cos \alpha' \cdot d\alpha' = b p r \int_{-\alpha}^{+\alpha} \cos^2 \alpha' \cdot d\alpha' = 2 b p r \left(\frac{\alpha}{2} + \frac{\sin 2\alpha}{4} \right).$$

Проекция на горизонтальную ось поковки таких нормальных реакций, как $p'br \cdot r \, da'$, действующих на каждую половину рабочей поверхности бойка, дают продольные силы, способствующие вытяжке. Эта проекция реакций

$$p'br \cdot da'$$

или

$$pbr \cos \alpha' \cdot da',$$

равняется:

$$pbr \cos \alpha \sin \alpha \cdot da.$$

Максимальное значение соответствует, таким образом, углу в 45° , при котором:

$$\cos \alpha = \sin \alpha,$$

отчего, —

$$pbr \cos 45^\circ \sin 45^\circ = 0,50 \, pbr.$$

Таким образом, видно, что для получения максимальной реакции для вытяжки надо остановиться на формах рабочей поверхности в виде дуги в 90° , связанной двумя касательными под углом в 45° к оси поковки (или бойка).

Сумма проекций на ось поковки для обеих симметричных половин рабочей поверхности бойка будет:

$$P' = \int_0^\alpha 2pbr \cos \alpha \sin \alpha \, da = 2pbr \frac{\sin^2 \alpha}{2} = pbr \sin^2 \alpha.$$

Если, начиная от угла α , продолжить по касательной рабочую поверхность бойка (рис. 156), то можно легко рассчитать равные между собой реакции на единицу поверхности, а также их проекции на ось бойка и на ось поковки.

Пусть l длина боковых поверхностей контакта. Каждая из них подвергается реакции на единицу поверхности, равной $p \cos \alpha$, где угол α ограничивает цилиндрическую часть бойка.

Полное давление на поверхность длиной l и шириной b будет $blp \cos \alpha$, а на обе поверхности $2blp \cos \alpha$.

Проекция давлений на ось бойка, действующих на обе его рабочие поверхности, будут:

$$2blp \cos^2 \alpha.$$

Проекция обеих симметричных рабочих поверхностей обоих бойков на ось поковки будут:

$$2blp \cos \alpha \sin \alpha.$$

Поэтому достаточно сложить эти значения с полученными раньше.

Окончательная сумма реакций на рабочую поверхность одного бойка будет:

$$2pbr \sin \alpha + 2blp \cos \alpha.$$

Вертикальное давление будет:

$$P = 2pbr \left(\frac{\alpha}{2} + \frac{\sin 2\alpha}{4} \right) + 2blp \cos^2 \alpha.$$

Продольное усилие с каждой стороны будет:

$$P' = pbr \sin^2 \alpha + 2blp \cos \alpha \sin \alpha.$$

Пример. Допустим, что:

$$b = 200 \text{ мм}; r = 50 \text{ мм}; p = 10 \text{ кг/мм}^2; \alpha = 45^\circ; \sin \alpha = 0,707 = \cos \alpha; \\ l = 40 \text{ мм}.$$

Сумма реакций на один боек:

$$(2 \times 10 \times 200 \times 50 \times 0,707) + (2 \times 200 \times 40 \times 10 \times 0,707) = 141\,400 + \\ + 112\,000 = 253\,400 \text{ кг}.$$

Вертикальное давление:

$$P = 2 \times 10 \times 200 \times 50 (0,392 + 0,25) + (2 \times 200 \times 40 \times 10 \times 0,50) = \\ = 128\,400 + 80\,000 = 208\,400 \text{ кг}.$$

Продольное усилие с каждой стороны:

$$P' = (10 \times 200 \times 50 \times 0,50) + (2 \times 200 \times 40 \times 10 \times 0,50) = 50\,000 + \\ + 80\,000 = 130\,000 \text{ кг}.$$

Эти цифры показывают все значение, которое могут иметь две плоские поверхности бойка, соединенные дугами по 45° . Радиус кривизны должен быть пропорциональным углублению бойка в металл. Углубление изменяется в зависимости от толщины поковки. Бойки с малым радиусом закругления и дугой контакта свыше 90° стремятся скорее разрезать поковку, нежели вытянуть ее.

Затрата энергии при вытяжке поперечными давлениями.

Расходуемая на вытяжку призмы поперечными давлениями энергия равна сумме работ, соответствующих отдельным ударам бойка, смещающим металл усилиями P , меняющими свое значение в каждый отдельный момент операции. Эту энергию при вогнутых рабочих поверхностях бойка точно рассчитать довольно трудно. При плоской рабочей поверхности бойка можно рассчитать довольно трудно. При плоской рабочей поверхности бойка (рис. 157) и при допущении равномерности распределения деформаций, можно вывести выражение для работы вытяжки, исходя из объемов сдвинутого металла. Называя три стороны прямоугольной призмы через a, a', a'' , соответствующие изменения сторон при деформации через l, l', l'' , средний коэффициент сопротивления металла отнесенный к объему через R , работу на перемещение кристаллоидов можно выразить уравнением:

$$T = (aa'l'' + a'a'l + aa'l')R.$$

Если оба изменения l и l' направлены в одну сторону, то l'' будет направлено в противоположную сторону. Считая, что объем остается неизменным, будем иметь:

$$aa'l'' = aa''l + aa'l',$$

откуда

$$aa''l' = aa'l'' - aa'l.$$

Подставляя эти значения в выражение работы, получим:

$$T = (aa'l'' + a'a'l + aa'l'' - a'a'l)R = 2aa'l'R.$$

Таким образом, энергия, потребная для производства деформации, вдвое больше энергии одной из работ поперечной деформации.

Зная перемещение l' , произведенное силой P , которая предполагается постоянной на протяжении элементарного периода сжатия, будем иметь, что

$$T = Pl' = 2aa'l'R,$$

откуда

$$P = 2aa'R,$$

что дает возможность получить значение R как функции от P .

Как мы уже видели из опытов над сжатием, значение R для одного и того же металла в разные периоды сжатия изменяется в широких пределах.

Поэтому можно основываться только на средних приближенных его значениях. Проще всего произвести опыт в нормальных практических условиях, т.-е. взять железную призму, нагреть ее до оранжево-красного каления и ковать под молотом до достижения требуемого сечения.

Опыт показал, что призма с первоначальным квадратным сечением в 150×150 мм и длиной в 400 мм под ударами парового молота с плоскими бойками, простого действия, с бабой весом 3300 кг и при постоянной высоте падения 1 м для сжатия до сечения в 85 мм в стороне при соответствующей длине в 1320 мм потребовала 118 ударов.

Работа или энергия при этом равнялась:

$$T = 118 \times 3300 \times 1,00 = 389\,400 \text{ кг.м.}$$

Операция продолжалась 4 минуты, и поковка оставалась еще вишнево-красного цвета.

Объем деформированного сдвигом металла равнялся:

$$85 \times 85(1320 - 450) = 6\,285\,750 \text{ мм}^3.$$

Таким образом, сдвиг одного кубического миллиметра потребовал

$$\frac{389.400}{6.285.750} = 62 \text{ кг.м.}$$

При закругленных рабочих поверхностях бойков число это будет значительно меньше.

Растягивая эту призму непосредственно и принимая среднее усилие на начальное сечение, равным 6 кг/мм² мил., а также полагая, что энергия вытяжки равномерна, получим ее значение, равное:

$$(150 \times 150 \times 6) \times (1320 - 450) = 117\,450 \text{ кг м,}$$

что дает отношение:

$$\frac{389.400}{117.450} = 3,3.$$

Таким образом, непосредственное растяжение данной призмы потребует работы приблизительно в три раза меньшей по сравнению с работой, произведенной молотом.

Это отношение дано только для сравнения затраты энергии. Оно показывает выгоды непосредственного растяжения перед вытяжкой

повторными поперечными давлениями. Не надо однако забывать, что последний способ обладает громадным преимуществом в отношении сжатия кристаллоидов и улучшения качества металла.

Орудия для вытяжки и влияние последней на металл.

Вытяжку небольших поковок производят различными ручными молотками на круглом роге наковальни. Точно так же пользуются небольшими механическими молотами.

Для вытяжки крупных поковок пользуются молотами простого или двойного действия и мощными прессами в зависимости от характера металла и назначения поковки ¹⁾. Вытяжку обычно начинают с середины болванки, постепенно перенося удары к концам и придавая поковке в конечном результате сечение близкое к окончательному сечению изделия (если только последнее не отклоняется от квадратного или восьмигранного).

Так как вытяжка в большинстве случаев улучшает механические свойства металла, то весьма важно придавать заготовке первоначальное сечение S достаточно большое, сравнительно с окончательным сечением S' , в особенности если металл получается из сварных пакетов или из болванок крупного кристаллического строения.

Отношения сечений $\frac{S}{S'}$ или длин $\frac{L}{L'}$ соответствующих отношениям вытяжек, называемых также коэффициентами вытяжки, колеблются для крупных литых болванок между 3 и 6. Эти значения гораздо выше при небольших и средних размерах поковок, а также при поковках из сварочного железа. Степень вытяжки зависит от качества металла. Поэтому-то для изготовления тонких листов требуются металлы высшего качества. При вытягивании проволоки коэффициент вытяжки достигает значения свыше 100 ²⁾.

1) В рациональной практике принято исчислять мощность молота простого действия, требуемую для вытяжки мягкой стали и выраженную в тоннах, равной тридцати-или пятидесяти-кратному квадрату диаметра вписанного в поковку круга, выраженному в метрах $N = \text{от } 30 \text{ до } 50 D^2$.

2) Таким образом, для листов толщиной свыше 10 мм, коэффициенты вытяжки которых колеблются между 10 и 15 в зависимости от качества металла, получаются следующие значения.

Материалы	R_r кг/мм ²	Продольное удлинение $A^0/0$	Поперечн. сжатие $A_s^0/0$	W_1 кг.м	R кг/мм ²	Продольное удлинение $A^0/0$	Поперечн. сжатие $A_s^0/0$	$W_1^{(a)}$ кг.м
Обыкновенные тонкие железные листы . . .	32	6	10	3	28	2,5	4	2
Железные листы высшего качества	26	12	25	8	31	6	10	4
Листы из литого железа	34	25	100	12	32	15	0	8
" " " "	38	40	230	20	36	30	100	14
Листы из мягкой стали	45	25	100	16	42	20	45	8

Сильная вытяжка вызывает изменения кристаллической структуры металла, повышает относительное удлинение, предел упругости и уменьшает влияние внутренних дефектов в крупных стальных отливках. Очень сильная вытяжка придает металлам волокнистое строение, повышающее значительно сопротивление разрыву в направлении вытяжки, но уменьшает его в поперечном направлении. Процентное удлинение уменьшается так же как и коэффициент вязкости. При производстве значительного количества одинаковых стальных изделий необходимо принимать минимальный коэффициент вытяжки, обеспечивающий надлежащее качество металла и в то же время не повышающий себестоимости изделий применением слишком больших болванок, ковка которых затруднительна.

Во всяком случае значительная вытяжка всегда характеризует высокое качество металла, если только она не дает большого количества брака и не слишком понижает коэффициент сопротивления металла в поперечном направлении.

Выглаживание.

Иногда для вытяжки вместо молотка или бойка применяют (рис. 158) промежуточный инструмент, так называемую круглую или полукруглую гладилку, по которой наносят удары. В этом случае молот является только машиной, развивающей энергию.

После обработки изделия гладилкой по двум или четырем поверхностям, приходится восстанавливать его квадратное или прямоугольное сечение под молотом на наковальне со слегка выпуклой поверхностью, действуя молотом попеременно с двух сторон.

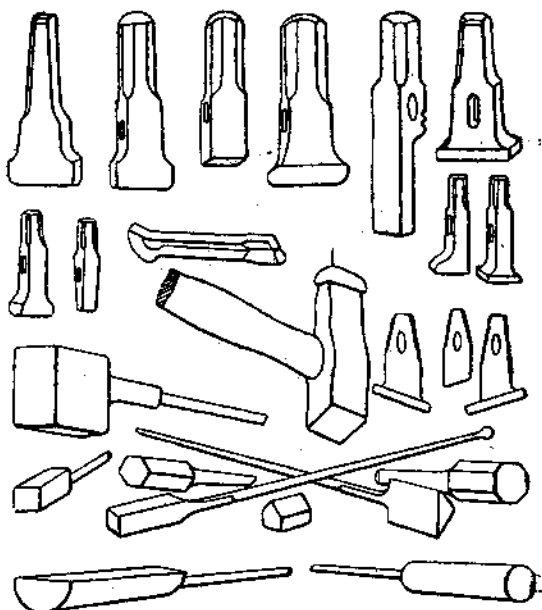


Рис. 158.

Жорж Шарпи (George Charpy) дает для очень чистой стали средней твердости, применяющейся для изготовления артиллерийских орудий, следующие коэффициенты вытяжки:

Диаметры	Коэффициент вытяжки ^(с)							
1,7	91,2	20	111	6,5	90,9	18	76	5,3
3,2	91,6	20	140	7,7	90,5	16	57	3,9
6,1	90,5	22	170	9,9	90,6	12	31	3,5

а) Коэффициент сопротивления удару надрезанных брусков, неудачно называемый „резильансом“ (resilience),

б) Technique Moderne, ноябрь 1918 г., стр. 530.

с) Сокращенное обозначение поперечного сжатия $\left(\frac{S}{S_0} - 1\right) 100 = A_s$

При этом необходимо избегать образования складок на поверхности металла.

Для законченности поверхности, бруска или изделия их выглаживают гладилкой, которую смачивают водой для лучшего отделения окалины.

Для получения косых профилей пользуются гладилкой с наклонными вправо или влево рабочими поверхностями (рис. 158).

Если требуется выгладить призматическое или шестигранное углубление, пользуются гладилками соответствующей формы.

Круглая гладилка применяется для образования закруглений заплечиков, квадратная — для образования острых заплечиков путем сжатия металла нормальными давлениями. Точно так же пользуются различными типами гладилок всевозможных размеров (рис. 158).

Вытяжка тонких изделий.

Подобная вытяжка применяется при малой толщине и большой поверхности металла, как, например, при вытяжке небольших листов.

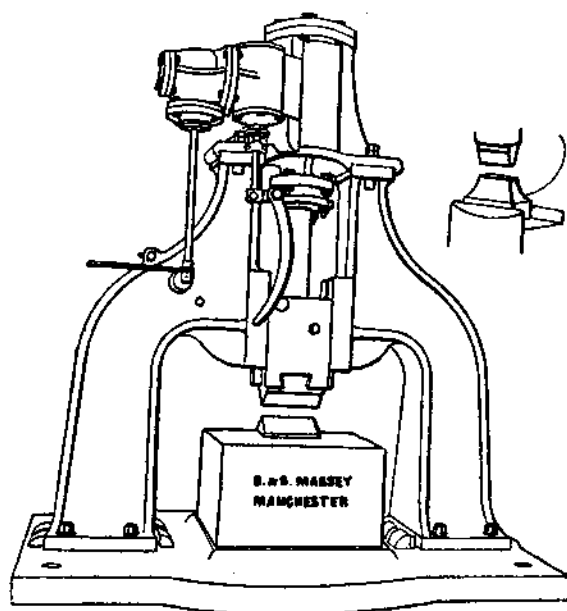


Рис. 159—160.

Удлинение заготовки в этом случае достигается длинным закругленным бойком (рис. 159), ударяющим по всей ширине изделия попеременно с обеих сторон, так как в противном случае получается неодинаковая деформация и изделие изгибается. Последовательная обработка с обеих сторон сохраняет плоскую форму изделия. Удары должны наноситься быстро. Для вытяжки листов особенно пригодны автоматические паровые молоты.

Работать необходимо методически. После того, как достигнута достаточная вытяжка, изделие выглаживают плоским бойком на плоской наковальне (рис. 160).

При производстве очень тонких изделий их накладывают друг на друга стопкой и затем подвергают вытяжке. Этому процессу мы коснемся в главе о производстве листов (кровельное железо).

Главное преимущество горячейковки в пакетах заключается в возможности дольше сохранить высокую температуру металла и в применении более сильных ударов, дающих при такой малой толщине больший коэффициент полезного действия.

Выравнивание.

Эта операция имеет целью выравнивание изделия, подвергнутого вытяжке или всякого другого изделия с неровностями на его поверхности.

Операция эта применяется к брускам, листам, цилиндрическим или коническим изделиям, или к изделиям с поверхностями двоякой кривизны, как, например, сферическими, винтовыми и др.

Гладильные молотки имеют плоский или слегка закругленный боек (рис. 161).

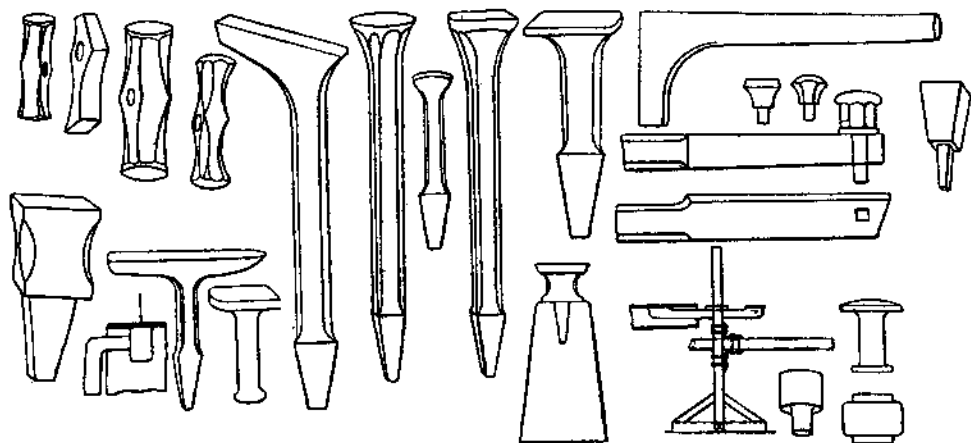


Рис. 161.

Тисочные наковальни, зажимаемые в тисках, представляют собой маленькие наковальни с небольшой рабочей поверхностью плоской или выпуклой формы, легко допускающей перемещение и установку изделия.

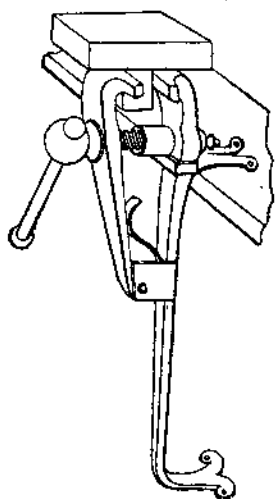


Рис. 162.

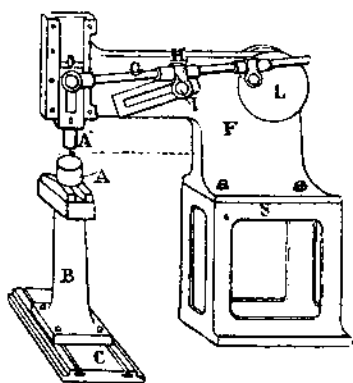


Рис. 163.

Выглаживание вручную применяется для небольших изделий. Работа ведется под механическим молотом, дающим, в зависимости от своей мощности, 200—500 ударов в минуту.

Установленный на цоколе гладильный молот (рис. 163, 164, 165) пригоден для обработки всевозможных плоских изделий средних размеров. При укреплении молота к потолочной балке остается свободным все пространство вокруг наковальни.

Молот, устанавливаемый на стене (рис. 167), применяется для обработки небольших изделий. Молот (рис. 168) с двумя ногами.

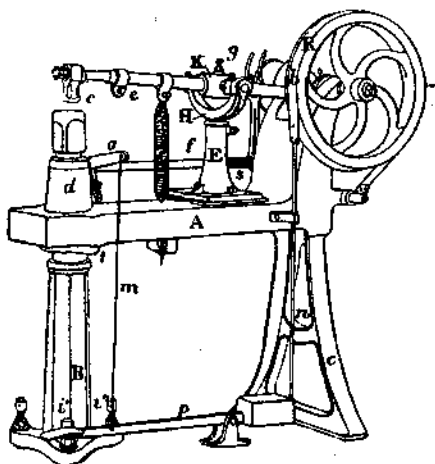


Рис. 164.

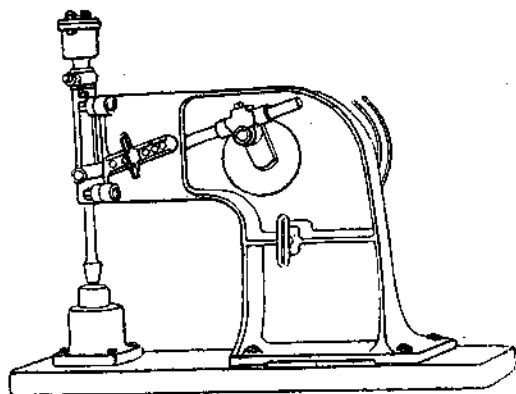


Рис. 165.

применяется дляковки больших цилиндрических или иных изделий, которые кладут на козлы, укрепленные к тележке. Выглаживание ци-

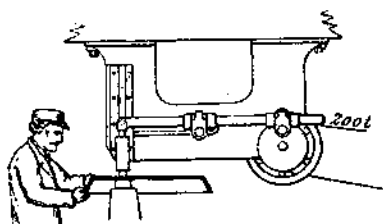


Рис. 166.

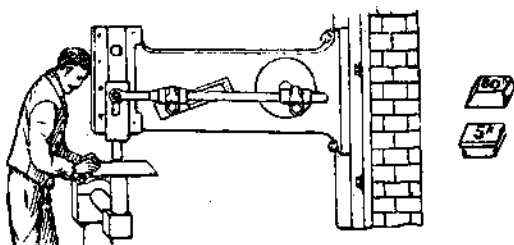


Рис. 167.

линдрического изделия (рис. 169—170) должно вестись ударами при круговых перемещениях поковки, а не при перемещениях по образующим.

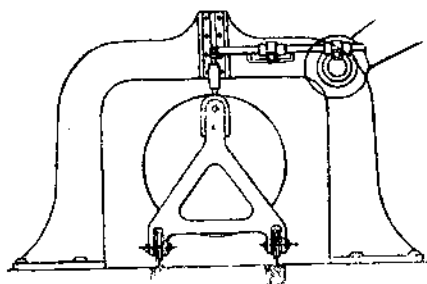


Рис. 168.

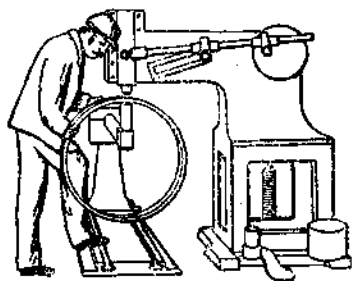


Рис. 169.

Значительное распространение, получил молот Бухея (Bouhey), но пневматический молот Ариса, пожалуй, пригоднее всех остальных. Выравнивание особенно применяется при холодной ковке медных изделий.

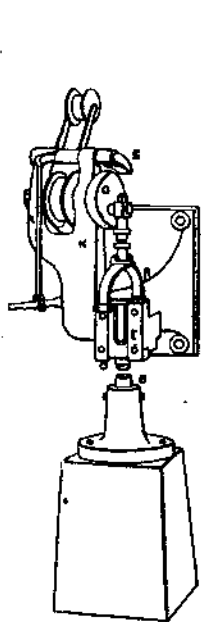


Рис. 170.

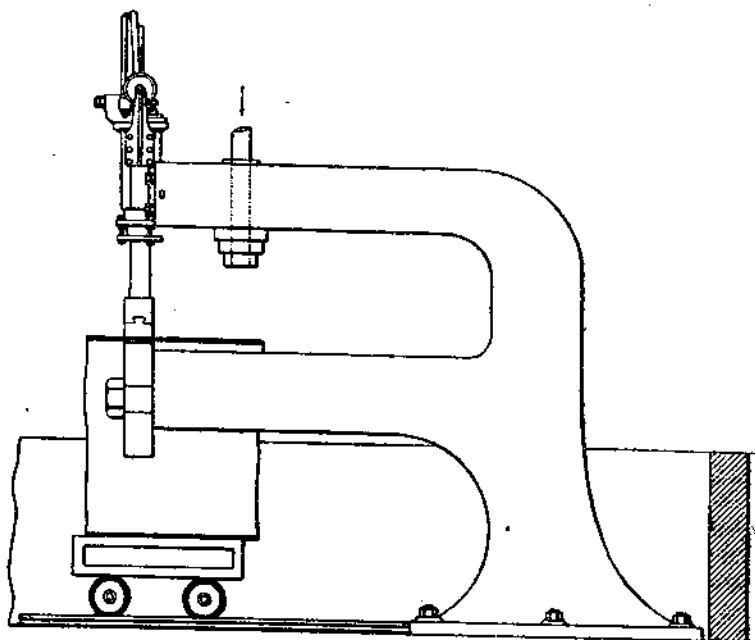


Рис. 171.

III. Высадка.

Высадкой называют операцию, состоящую в увеличении поперечных размеров какой-либо части длинного изделия. При холодной ковке необходимо принимать меры, чтобы не допустить увеличения сечения тех частей, которые должны оставаться неизменными. При горячей ковке части, которые должны остаться неизменными, не нагревают до высоких температур.

При более или менее значительной массе поковки достаточно ударить ее торцом по чугунной наковальне, стоящей на уровне земли. Чаще всего высадку производят молотом или прессом.

Высадка конца поковки получается легче, нежели высадка ее средней части (рис. 172—173). Если длина изделия значительна по сравнению с его сечением, то высадка может вызвать изгиб и изделие приходится несколько раз выпрямлять, отчего металл, в особенности если он имеет волокнистое строение, больше устает.

В месте высадки, если она значительна, волокна металла расходятся или стремятся разойтись и отделиться друг от друга. Вследствие этого наблюдаются боковые отрывы волокон на окружности поковки. Поэтому ее снова приходится подвергать поперечным ударам, чтобы восстановить однородность металла. Высадки можно избежать, применяя заготовки большого сечения. В этом случае необходимое утолщение достигается путем вытяжки соседних частей поковки кувалдами.

Тем не менее при сварке некоторых изделий высадка, комбинированная с поперечной проковкой, вызывающей еще большую вытяжку, иногда оказывается полезной.

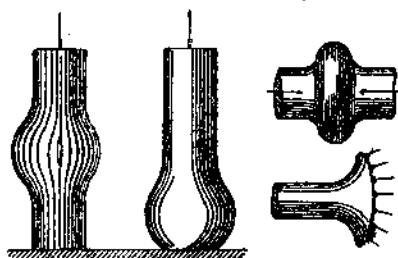


Рис. 172—175.

В некоторых случаях, в особенности при электрическом нагревании поковки, когда поддерживается высокая температура высаживаемых частей в продолжение всей операции, процесс этот может быть выгодным для быстрого образования валиков и цилиндрических фланцев (рис. 174—175).

Этот процесс применяется также в тех случаях, когда требуется несколько уменьшить длину изделия, как, например, бандаж, оси, шатуна. Для этой цели можно успешно пользоваться прессом (рис. 176), называемым высадным прессом.

Высадка применяется также для образования шляпок гвоздей, головок винтов, болтов, заклепок и т. п. Эти головки высаживаются в одну или несколько операций, в горячем или холодном состоянии. Для надлежащего уплотнения металла требуется значительная высадка, значительные давления, зависящие от характера металла и достигающие иногда для холодного железа свыше 1000 кг/мм^2 , а при раскаленном железе свыше 40 кг/мм^2 .

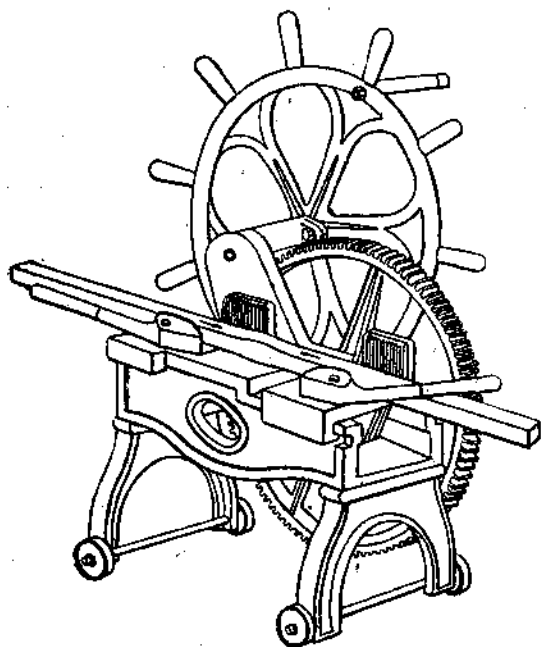


Рис. 176.

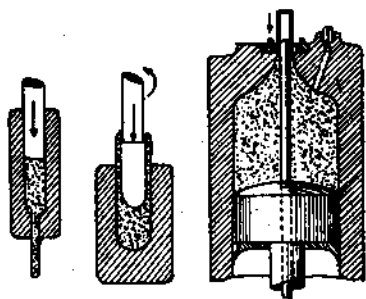


Рис. 177—179.

Этот процесс применяется также при выдавке (истечении) металла в жидком, тестообразном или твердом состоянии. Металл выдавливают из сосуда через отверстие, сечение которого соответствует сечению готового изделия (рис. 177).

Этим процессом уже давно пользуются¹⁾ при изготовлении свинцовых и оловянных труб, выдавливая металл гидравлическим давлением. Процесс пробовали применить к расплавленной стали и железу для изготовления сортовых или фасонных полос с сечением, возможно близким к окончательному, так чтобы их можно было доводить до точных размеров в несколько пропусков на прокатном стане.

Расплавленный металл, заключенный в огнеупорном сосуде, выдавливался жидкой углекислотой, позволявшей развивать давления в 40 кг/см^2 и больше. Оправка должна находиться в центре выпускного отверстия и не должна составлять одного целого с давящим поршнем. В противном случае оправка будет выходить из отверстия, когда поршень достигает конца своего хода, и оставаться

¹⁾ Thomas Burr в Англии взял на этот процесс патент 11 апреля 1820 года.

в конце трубы. Этот конец приходится обрезать, и в результате получится много отходов. Металл иногда выдавливают вокруг направляющей штанги поршня (рис. 179). При этом процессе требуются весьма сильные давления, зависящие от относительных размеров. Давление также зависит от того, придают или нет матрице или оправке вместе с продольным движением относительное вращательное движение. Этот процесс пригоден при небольшой длине изготавливаемых из лить.

Опыты над истечением металла.

Приведем некоторые опыты, произведенные нами со свинцом. Усилия, вызывающие истечение, полученные при этих опытах, изображены кривыми на рис. 180.

Кривые A, A', A'', A''' относятся к выдавливанию металла оправкой диаметром 36 мм через отверстия диаметрами 4, 6, 12, 15 и 20 мм. Скорость оправки в среднем равнялась 2 мм в минуту. Первые миллиметры перемещения оправки вызывают сжатие свинца, после чего начинается истечение металла, при котором установившееся давление изменяется только в очень незначительных пределах.

Максимальные давления и сопротивления истечению, отнесенные к поперечному сечению оправки в 1029 мм², получили следующие значения.

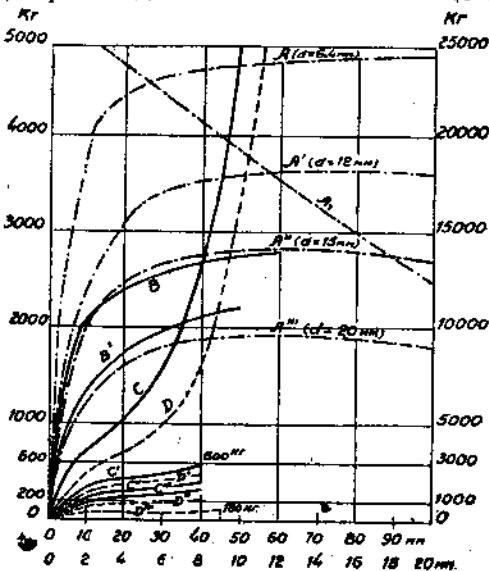


Рис. 180.

Диаметр отверстия мм	6,4	12,0	15,0	20,0
Максимальное давление кг	25 100	19 000	14 200	9 900
Давление на единицу поверхн. кг/мм ²	24,4	18,5	13,8	9,6

Эти значения показывают влияние диаметра отверстия на истечение металла. Если максимальные усилия принять за ординаты, а сечения за абсциссы, то получается кривая A_1 .

При первом опыте энергия выдавки при перемещениях оправки на 1 мм в период установившегося давления равнялась $25\ 100 \times 0,001 = 25,1$ кг.м, относя ее к объему, равному $0,001029 \times 0,001 = 0,000.001.029$ м³, можно рассчитать, что для выдавки одного кубического дециметра металла в тех же условиях требуется $\frac{0,001 \times 25,1}{0,000.001.029} = 24\ 390$ кг.м, развиваемых со скоростью в 50,2 кг.м в минуту или по 0,83 кг.м в секунду.

Кривая B относится к прониканию оправки с плоским концом диаметром 52,4 мм. Давление на квадратный миллиметр сечения оправки колеблется между 6 и 8,7 кг в период, соответствующий кольцевому истечению металла, и составляет от 17 до 24 кг на 1 мм² кольцевого сечения.

При оправке диаметром 34 мм и при том же отверстии в 52,4 мм получается кривая B' . Давление на мм² изменяется соответственно от 3,5 до 12,5 кг и от 4 до 9 кг.

Таким образом, видно, что усилия могут изменяться очень значительно и что они зависят от отношений сечений отверстия и оправки.

Действительно если d — диаметр отверстия, d_1 — диаметр оправки, P — выдавливающее усилие, R — сопротивление на единицу кольцевого сечения, R' — сопротивление на единицу сечения оправки, то

$$R = \frac{4P}{\pi(d^2 - d'^2)} \quad R' = \frac{4P}{\pi d'^2},$$

откуда

$$\frac{R}{R'} = \frac{d'^2}{d^2 - d'^2} = \frac{1}{\frac{d^2}{d'^2} - 1}.$$

При $d = d'$, значение R стремится к бесконечности.

При небольшом значении d' полезное действие деформации, к которой стремятся, очень мало. Поэтому необходимо принимать $\frac{d^2}{d'^2}$, в пределах от 1,2 до 3. При $\frac{d^2}{d'^2} = 2R = R'$, т.е. при сечении оправки, равном кольцевому сечению, имеем:

$$d = d' \sqrt{2} = 1,4d'.$$

Эти последние значения принимаются на практике при изготовлении соединительных муфт из мягкой стали для труб. Эти муфты выдавливают при высокой температуре и затем подвергают вытяжке.

Если оправке и матрице придадут относительное вращательное движение, при чем обычно вращают оправку, то усилия, вызывающие истечения, чрезвычайно быстро уменьшаются вместе со скоростью вращения. Вращательное движение уменьшает продольное трение металла об оправку. Металл нагревается и оказывает меньшее сопротивление.

Мы пользовались при опытах со свинцом отверстием в 30 мм диаметром и оправкой диаметром 15 мм. Скорости вращения равнялись 074, 128 и 200 оборотам в минуту.

При оправке с плоским концом, давление без вращения инструмента изменялось от 5 до 40 кг/мм² и более, в зависимости от степени углубления, при чем это давление относилось к сечению оправки. Изменение усилий изображено кривой С. При указанных скоростях получаются кривые С', С'', С''', ординаты которых с увеличением скорости возрастают очень незначительно. Таким образом, при углублении в 35 мм получаются следующие усилия:

Число оборотов	0	74	128	200
Усилия в кг	2 100	580	730	260

Если конец оправки закруглен, т.е. имеет, например, сферическую форму, усилия также уменьшаются.

Кривые D, D', D'', D''' относятся к такой именно оправке.

Мы могли бы привести ряд очень любопытных замечаний по этим опытам, но это слишком отклонило бы нас от задачи настоящего труда. Тем не менее заметим, что в начале проникания вращающейся оправки, вокруг нее образуется валик и только несколько спустя начинается кольцевое истечение металла. Можно заметить, что в месте контакта с инструментом металл нагревается настолько сильно, что при значительной скорости свинец расплавляется. Прилегающий к оправке металл выдавливается спирально, что может повредить качеству ме-

талла, не обладающего такой текучестью как свинец. Поэтому, при изготовлении больших изделий из мягкой стали, предпочитают неподвижные оправки, так как вращение, кроме того, требует затраты энергии. Хотя последнее способствует сохранению высокой температуры металла, но зато требует значительно большей энергии, нежели истечение без вращения.

При температуре близкой к 1200° сопротивление на мм^2 сечения оправки может изменяться, по Робертсону между 30 и 40 кг, т.е. в четыре или шесть раз больше сопротивления свинца в холодном состоянии. Этот процесс применяется для холодной обработки меди и латуни, когда оправке придают скорость на окружности равную 0,10 м/мин. Мягкую сталь, при высокой температуре, в особенности при небольших размерах изделия, выдавливать надо очень быстро, и потому оправку диаметром от 12 до 25 мм вращают со скоростью от 10 000 до 20 000 оборотов в минуту, при поступательной скорости около 0,004 м/мин.

Во второй части нашей книги мы приведем устройство большинства оправок и машин, применяемых Робертсоном при изготовлении этим процессом заготовок труб.

IV. Ковка на оправках.

Ковка на оправках заключается в выравнивании предмета, при чем металл принимает форму инструмента — оправки, поверхность которой действует поперечным давлением.

При ковке наружного профиля, оправка M (рис. 181) охватывает изделие P , проходящее через нее насквозь. Так как сечение изделия несколько больше отверстия инструмента, то металл принимает сечение этого отверстия. Изделие движется относительно оправки прямолинейно под ударами молота или под давлением прессы. В месте контакта с поверхностью оправки развивается более или менее сильное трение, происходящее от реакции P' . Последнее можно рассчитать, зная усилие P и коэффициент трения f . Для этого пользуются зависимостью $Spf = P'f = P$ (где p давление или реакция на единицу поверхности S).

Реакции тем больше, чем больше поверхности контакта S . Поэтому последние не должны быть слишком велики, чтобы не увеличивать свыше меры значения P . При этом предполагается, что не происходит сколько-нибудь значительного высаживания металла, в противном случае приходилось бы считаться с зависимостями равновесия сил, как то будет указано при описании работы растяжения на оправке.

Если приходится, например, обрабатывать полое изделие или отверстие в изделии, то оправку вставляют в это последнее (рис. 182).

Обычные оправки (рис. 183—185) выделывают из стали, а для поковок больших размеров — из твердого чугуна. Ковка производится при горячем или холодном состоянии металла, в зависимости от характера и размеров изделий.

Оправка иногда делается растяжной (рис. 186). В этом случае она состоит из нескольких сегментов B , пригнанных к конусу C и удерживаемых частями E и F . Таким образом, действуя винтом G , можно в небольших пределах изменять наружный диаметр оправки. Подобной оправкой пользуются для растяжения концов труб для увеличения их диаметра и придания им формы изделия, к которому они должны прилегать. Эти операции часто называются развальцовкой или раскаткой.

На рисунках 187 и 188 изображена растяжная оправка ¹⁾, расходящиеся части которой соединены шарнирами.

Гайка *E* и винт *C* имеют продольное движение и позволяют регулировать наружный диаметр. Оправки (рис. 189 и 190) применяются дляковки больших колец и бандажей, которые куются в горячем состоянии. После установки конуса *C* посредством винта *V* пускают в ход гидравлический пресс.

На рисунках 191 и 192 изображена оправка Тюлли (Tully) с восемью роликами *E*, помещающимися в теле *B* оправки и нажимающими на три сегмента *D*, расхождение которых достигается конусом *C*, приводимым в движение винтом *V*. На рис. 192 приведено устройство,

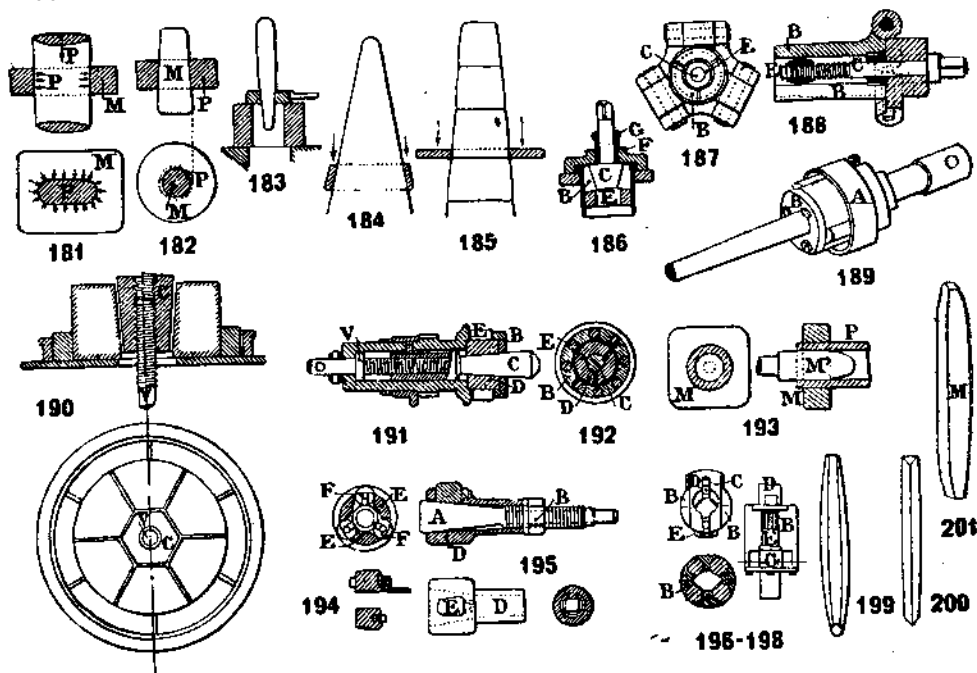


Рис. 181—201.

предложенное Февром (Faivre). Рисунок 194 изображает очень распространенную оправку Ричарда Дюджона (Richard Dudgeon).

Если приходится выравнивать внутренние и наружные поверхности полого изделия, как, например, трубы, пользуются двумя оправками *M* и *M'* (рис. 193), действующими одновременно на изделие *P*.

Если требуется ковать на оправке, по желанию, внутреннюю или наружную сторону трубы, то она устраивается, как показано на рис. 196—198 с четырьмя роликами, выступающими наружу или внутрь их обоймы ²⁾.

На оправках куют также в холодном состоянии полые изделия, помещая их в матрицы, не позволяющие им расширяться при загонке оправки силой. Такие оправки имеют постепенно возрастающие сечения (рис. 199—201).

Таким образом внутренний слой металла сильно деформируется, он приобретает большую твердость, кристаллоиды его сжимаются

¹⁾ Оправка Галля и Томсона (Hall and Thompson).

²⁾ Оправка В. Бонда (W. Bond), патент 7 сентября 1880 года.

и внутренние слои подвергаются холодному наклепу, который весьма благоприятно влияет на сопротивление разрыву.

Этот процесс применен в Венском арсенале генералом Ухациусом (Uchatius) для производства бронзовых пушек. Ему удалось придавать бронзе процентные удлинения и сопротивления разрыву, весьма близкие к таким же свойствам металла стальных пушек. Несомненно, что при этом предел упругости металла повышается, но удлинения его уменьшаются.

Операция также применяется для изготовления колец бронзовых пушек или пушек из мягкой стали. В этом случае ковка на оправке представляет процесс холодного прессования.

V. Ручное штампование.

Для облегченияковки изделий, поверхности которых можно частично или целиком заключить в оболочку, пользуются формами воспринимающими постоянное или переменное давление, или повторные удары, придающие металлу форму, соответствующую углублениям штампов. Таким образом, пресс или молот производят лишь усилия, необходимые для придания поковке определенной формы; последняя же зависит от формы штампа.

На практике различают две разновидности работы в формах, части которых перемещаются прямолинейно под действием давления или ударов, а именно: ручное штампование обжимками и ковку в матрицах. Инструменты в этих двух случаях называются штампами или обжимками и матрицами: штампы и матрицы отличаются друг от друга только деталями. Так, штампы действуют только на часть поверхности поковки, тогда как матрицы охватывают ее со всех сторон. Операция производится в одной или нескольких парах форм, образующих изделие или одним ударом или постепенно несколькими последовательными ударами.

Дальше мы встретимся снова с целым рядом процессов штампования иликовки в матрицах в статьях о пуансонной протяжке и о штамповании из листов, а также при исследовании вопросов прокатки изделий специальной формы между валками или между цилиндрами с фасонными углублениями на их поверхностях.

Обычные штампы применяются для окончательной отделки цилиндрических и призматических поковок. Они состоят из двух частей (рис. 202—205) нижней и верхней.

Нижний штамп помещается на наковальне или сам служит наковальней (рис. 206 и 207). На штампе имеется ряд дорожек или углублений разного вида. Давление или удар действуют на верхний штамп, передающий усилие различным поверхностям поковки. Штампы образуют оболочку, способствующую продольным сдвигам металла при сохранении одновременно равномерности его сечения.

Таким образом, видно, что для квадратного сечения следует пользоваться штампами с углублениями в виде буквы V, так как наклонные поверхности этих углублений облегчают вынимание поковки. Кроме того, при плоских штампах или при штампах с горизонтальными и вертикальными поверхностями, применяемых для доведения поковки до окончательной формы, при помощи плоского верхнего штампа (рис. 205) давление на вертикальные поверхности получается значительно меньше, нежели на другие, тогда как при V-образных (рис. 208) углублениях давление одинаково распространяется на все четыре

поверхности. Как мы уже видели выше, полные давления при одном и том же вертикальном усилии возрастают.

Заметим, что усилия P (рис. 203) вызывают равнодействующие усилия, равные:

$$4P' = \frac{4P}{\sqrt{2}} \approx 2,8P.$$

Несмотря на значительное увеличение полного давления на все четыре поверхности, штампование невыгодно при вытяжке, так как

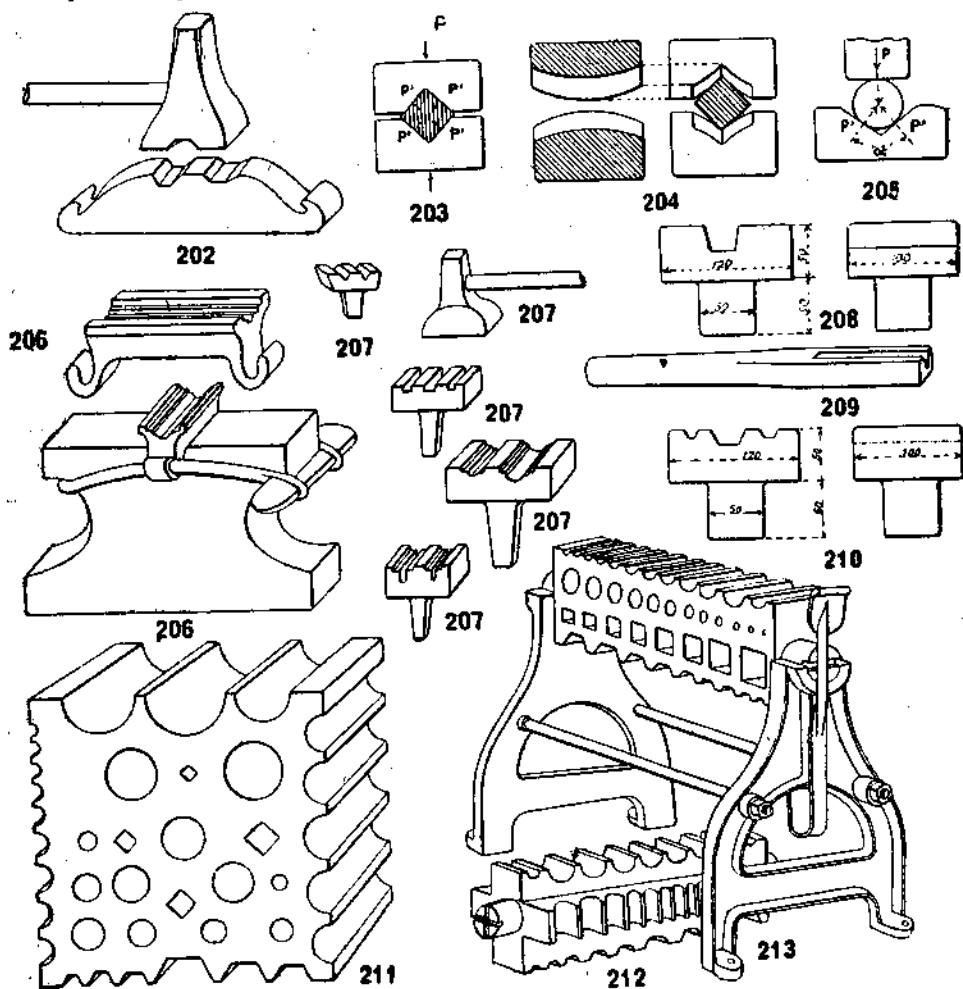


Рис. 202—213.

все давления действуют нормально длине изделия. Штампование более пригодно для окончательной обработки поковок.

При криволинейной форме поверхностей штампов (рис. 204), развиваются давления, направленные под углом к длине поковки, отчего и получается более сильная вытяжка.

Иногда при штамповании не применяют совершенно верхнего штампа, а усилие прилагают непосредственно к поковке (рис. 205). Таким образом, металл подвергается трем давлениям P, P', P'' . Значение каждого из них равняется

$$P' = P'' = \frac{P}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}.$$

Если угол $\alpha = 60^\circ$, то $P' = P'' = P$.

Эти типы штампов (рис. 210—212) служат для образования заплечиков.

Шестигранные штампы (рис. 210) обычно применяются для окончательной отделки головок болтов и гаек этой формы. Нечего говорить, что изделие надо часто поворачивать во избежание образования заусениц в местах соприкосновения штампов и для большей равномерности проковки. Штампы с фасонными углублениями (рис. 207) применяются для изделий соответствующего сечения и часто имеют плоскую верхнюю поверхность, на которую действует плоский верхний штамп. Эти фасонные штампы в прежнее время были очень распространены для производства полосового железа разных профилей.

При цилиндрическом сечении поковок штампование применяется для окончательной отделки изделий. Круглое сечение штампа не допускает сильной вытяжки, так как при нем всегда происходят значительные сдвиги металла. Это в особенности замечается при плоских штампах (рис. 214 и 215). Кристаллоиды металла вблизи

верхних и нижних образующих поковки, под действием штампа осаживаются к центру и вызывают чрезмерное расширение частей, находящихся вне обжимки. Поверхности этих частей раскалываются в продольном направлении или стремятся образовать призмы скольжения, сходные с теми, которые наблюдаются при нековких кристаллических структурах металла. Кроме того, центральные кристаллоиды металла, которые попеременно то сжимаются, то растягиваются, перемещаются во всех направлениях, вследствие увлечения боковыми частицами металла. При таких сдвигах металла в центре поковки может образоваться пустота. В тех случаях, когда относительные удлинения и укорачивания значительны, сдвиги внутренних частиц металла при повторности усилий могут вызвать разрыв в центре поковки.

Если возьмем цилиндр небольшого диаметра (рис. 214), то при первой деформации он превращается в цилиндр с овальным основанием, затем при второй деформации (рис. 215) малая ось овала становится большой осью и претерпевает удлинение примерно в 100%.

Подобное удлинение выдерживают только очень немногие металлы и то только в условиях соответствующих их максимальной текучести.

Поэтому нельзя ковать цилиндрического изделия сильными ударами. Сперва надо придать поковке квадратное сечение, после чего последнее можно превращать в восьмигранное, шестнадцатигранное и тридцатидвухгранное, и только затем штамповать в круглое сечение.

Тем не менее для умеренной вытяжки больших, иногда полых изделий, выкованных на внутренней оправке (рис. 217), можно успешно пользоваться штампом, если он охватывает поковку на большей части ее контура, сдвигая металл в единственно свободном, продольном направлении. Если действие штампа локализовано, то внутренняя оправка служит как бы наковальней для двух штампов: металл перемещается по окружности, вытяжка же по длине получается незначительной.

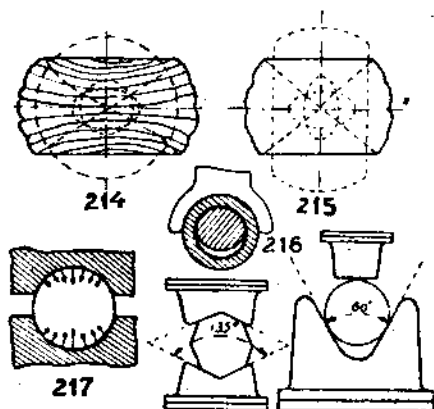


Рис. 214—219.

Аналогичный эффект получается при нагонке силой полой цилиндрической поковки на другую, образующую как бы оправку.

Прилипание можно предупредить легкими ударами, несколько растягивающими окружность поковки.

При полуцилиндрическом штампе (рис. 216) максимальные давления направлены по вертикальному диаметру поковки, и если только штампы не препятствуют боковым сдвигам металла, то давление уменьшается до нуля по мере приближения его к горизонтальному диаметру поковки.

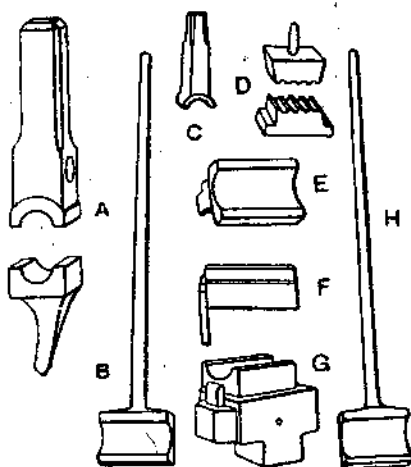


Рис. 220.

а затем штампами, изображенными на рис. 219 или на рис. 216, придают ей цилиндрическую форму.

Цилиндрическими штампами часто пользуются для окончательной горячей обработки мелких изделий, как, например, шеек валов (рис. 220), имеющих часто заплечики. Эти штампы для небольших поковок устраиваются с несколькими углублениями постепенно уменьшающихся диаметров. Штампы же для крупных изделий устраиваются только с одним углублением.

Штампы в виде пружинных щипцов обеспечивают верное положение обеих половинок и применяются для производства кольцевых углублений и заплечиков.

Штампами точно также пользуются при производстве целого ряда сферических поковок, тел вращения и других форм (рис. 221).

Штампование применяют также для придания формы головкам болтов, заклепок, шейкам и т. п. Его применили также для горячего производства винтов. В этом случае штампы состоят из двух частей в виде полугаек, которыми действуют в несколько приемов, подвигая вдоль изделия и поворачивая вместе с тем заготовку.

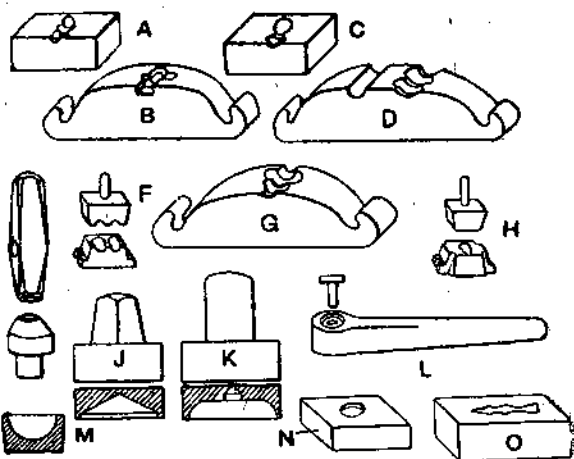


Рис. 221.

Большое количество скобяных изделий штампуются из листовых металлов путем последовательного применения нескольких пар штам-

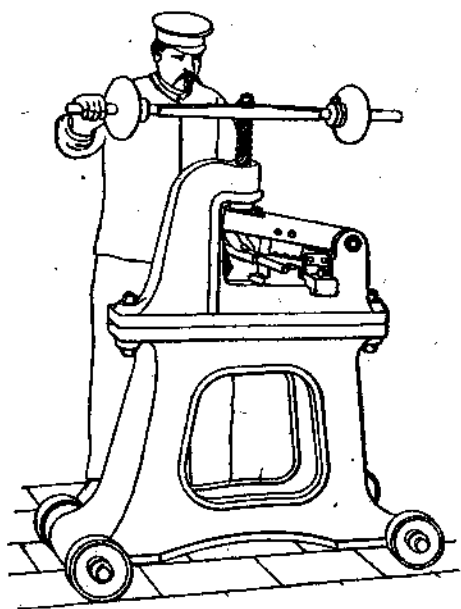


Рис. 222.

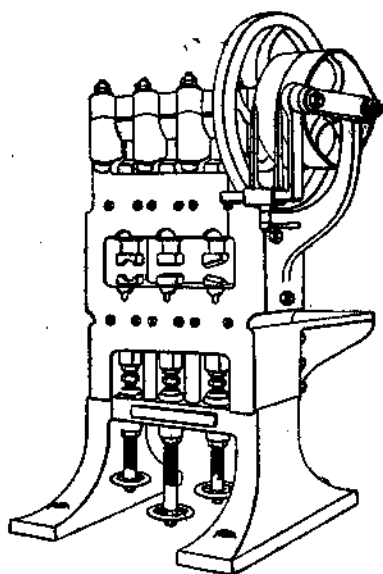


Рис. 223.

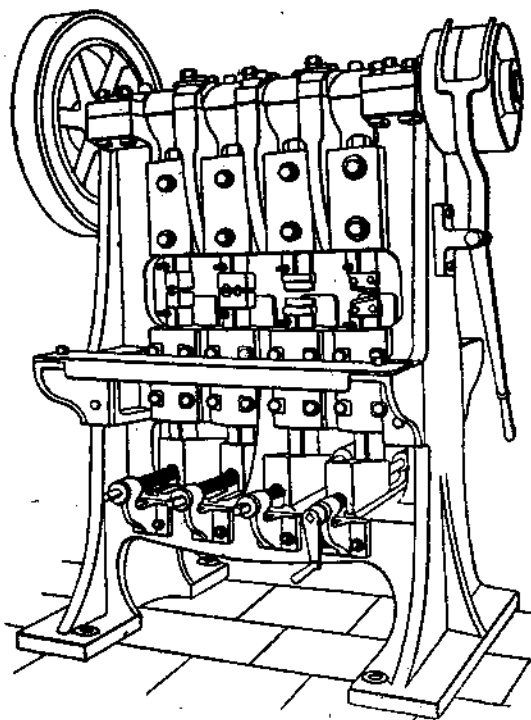


Рис. 224.

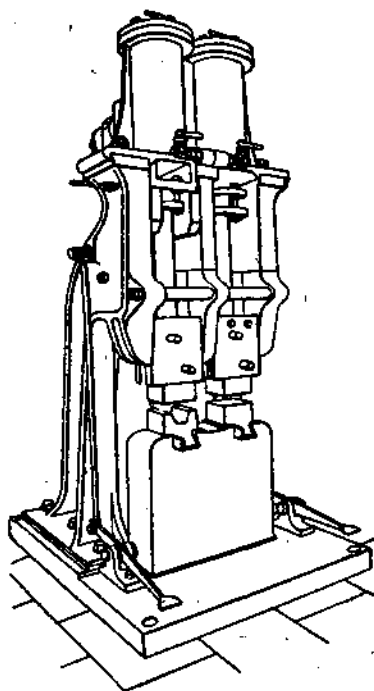


Рис. 225.

пов, получающих в данном случае название открытых матриц, так как они неполне охватывают изделие.

Если изделия должны иметь отверстия небольшого диаметра, то лучше (при массовом их изготовлении) отливать их сплошными. Отверстия в таких крупных изделиях, как ободах, кольцах артиллерийских орудий и стальных гидравлических цилиндрах, проделываются перед окончательным штампованием. Таким способом внутренний металл поковки лучше проковывается и становится более однородным.

Поперечное штампование мелких изделий, выделяемых в больших количествах, производится на специальных штамповальных прессах или под быстроходными молотами.

На рис. 222 изображен ручной штамповальный пресс. Он состоит из винта и рычага с двумя надетыми на него тяжелыми шарами. Верхний штамп прикрепляется к качающемуся рычагу, приводимому в действие винтом, а нижний к небольшому столу станины. Толщину штампуемого изделия регулируют клином.

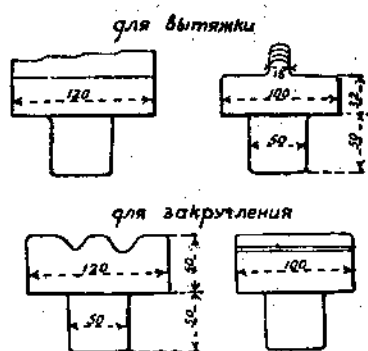


Рис. 226—227.

На рис. 223 и 224 изображены эксцентриковые прессы с постоянной длиной хода верхнего штампа. Нижние штампы устанавливаются на любой высоте, вследствие чего можно штамповать изделия одинаковой толщины или одинакового диаметра.

Такие машины делают до 800 оборотов в минуту и потому отличаются большой производительностью. При серийном производстве в прессе рис. 224 можно последовательно работать четырьмя парами штампов, выполняющими каждая соответствующую операцию. Молот, изображенный на рис. 225, не представляет каких-либо особенностей. На нем можно производить холодное штампование листовых металлов, а также горячее, пользуясь штампами типа, изображенного на рис. 226—227.

VI. Ковка в матрицах.

Эта операция производится в закрытых матрицах, действующих на всю поверхность изделия.

Матрицы имеют углубление, соответствующее форме поковки. В зависимости от сложности формы, ковка производится в одну или в несколько операций.

Форма обыкновенно состоит из двух матриц, боковые стенки которых несколько скошены, для облегчения вынимания штамповок (рис. 228—230). Операцияковки железа, стали и меди в матрицах, при значительной выпуклости профиля изделий, как, например, машинных частей, производится в горячую.

При выделке изделий с небольшим рельефом, из меди, мягкого железа, свинца, цинка и разных других ковких металлов, операцию можно производить и в холодную.

В исключительных случаях в холодную куют некоторые машинные части небольших размеров из ковких металлов, когда требуется придать большую твердость их поверхности.

После каждой операции не следует забывать удалять все мелкие частицы окалины, пристающие к матрицам. Матрицы хорошо также протирать холщевой тряпкой, смоченной керосином и посыпанной графитом, отчего получается более гладкая поверхность изделий.

Несколько лет тому назад производились опыты штампования железа в жидком состоянии, но до сих пор этот способ не получил практического применения.

Одна из матриц, обычно нижняя, делается неподвижной и устанавливается на наковальне молота или пресса. Другая матрица чаще всего движется вертикально и передает усилие пресса или бабы. Матрицы обычно делаются прямоугольными в плане, а стык их устраивается в горизонтальной плоскости, т.-е. перпендикулярно направлению усилия. Этот стык располагается горизонтально, так как при этом удобнее обращаться с обрабатываемым изделием. Часто, чтобы металл при горячей ковке не слишком охлаждался за время операции от контакта с холодной матрицей, вместо медленного давления пресса предпочитают пользоваться ударами, которые должны быть очень сильными и частыми.

Прилагаемое усилие должно быть несколько больше и, если то возможно, длительнее того усилия, которого достаточно для сжатия металла. Этим достигается лучшее уплотнение металла во всех частях обрабатываемого изделия.

При ковке под прессом, давление на квадратный миллиметр железа или стали при сварочной температуре должно быть не менее 8 кг. Давление должно быть больше при понижении температуры металла. Для достижения однородности металла, для образования острых углов и получения большей чистоты поверхностей, давление надо доводить до 15 или 25 кг/мм² и даже больше.

При поверхности, равной 1 м², и принимая давление в 10 кг/мм², потребовалась бы сила в 10 000 000 кг, т.-е. был бы необходим пресс большой мощности. Так как передвижение подвижной матрицы не велико, то невелика и механическая работа. Для получения таранного удара выгодно пользоваться аккумулятором.

Ковку в матрицах обычно ведут под молотом, поэтому сжатие происходит быстро. Так как металл находится в состоянии наибольшей ковкости, то он оказывает наименьшее сопротивление перемещению его кристаллоидов, вследствие чего хорошо заполняет форму, не давая ни разрывов, ни трещин.

Дляковки в матрицах требуются бабы с большой относительной массой, дающие столь энергичный удар, что металл, находившийся перед тем в состоянии оранжевого каления, раскаляется после удара добела, так как часть энергии превращается в тепло, повышающее температуру, чего не происходит при работе под прессом.

Необходимо, насколько возможно, уменьшать заусеницы в стыке, беря объем металла возможно близкий к объему изделия. Вес заготовки должен равняться 1,2 веса готового изделия.

При изготовлении матриц, которое должно быть весьма тщательным, необходимо принимать во внимание усадку металла, в зависимости от температуры после удара, составляющую для железа $\frac{1}{84}$ его длины, $\frac{1}{42}$ его поверхности и $\frac{1}{28}$ его объема¹⁾. При устройстве матриц необходимо предусматривать полости для избытка металла и скашивать боковые поверхности для облегчения вынимания изделия.

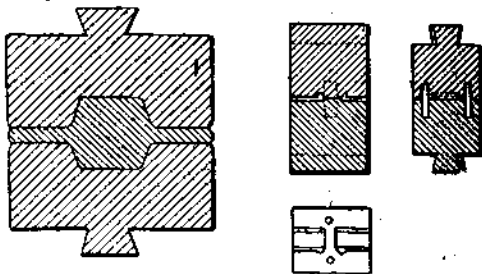


Рис. 228—230.

¹⁾ Bulletin technologique, июль 1888 г. Matricage des pieces en fer, статья F. Ayrallès.

Вес матрицы зависит от размера и формы изделия. Матрицы должны обладать большим сопротивлением деформации и удару. Матрицы для работ под прессом могут быть не столь прочными, как для работ под молотом.

В этом последнем случае имеет некоторое значение вес матрицы, который на практике обычно берут двадцати-пятидесятикратным по отношению к весу изделия. Матрицы выделывают из литой стали или чугуна с 55% содержания рельсового лома. Матрицы из специальных сортов стали требуют очень тщательного выполнения. Они подвергаются термической обработке и двойной закалке для большей продолжительности службы. Так, например, пользуются закаленной и отпущенной хромо-никелевой сталью, сопротивление которой после закалки $R_r = 150$ кг на кв. миллиметр.

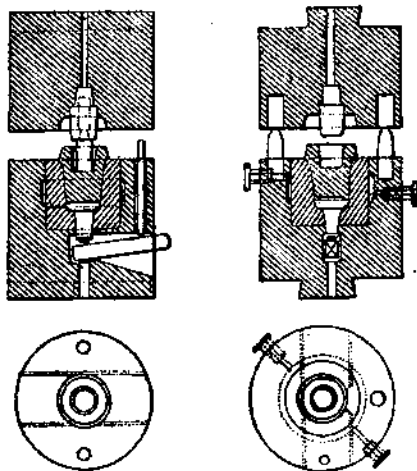


Рис. 231—232.

Матрицы должны хорошо содержаться, правильно устанавливаться и направляться или боковыми выступами и соответствующими им вырезами, или же шпильками большого диаметра, укрепленными в одной половине матрицы и входящими в соответствующие отверстия другой (рис. 231 и 232).

Если изделие имеет плоскую поверхность, то углубление надо делать по возможности целиком в нижней матрице так, чтобы верхняя была возможно проще и имела, если то возможно, только плоскую поверхность. В последнем случае вместо нее можно

пользоваться обычным штампом прессы или бойком молота.

В этом случае после каждого удара не надо забывать набрасывать на изделие мокрые древесные опилки для удаления окалины.

Размеры заготовок должны быть возможно ближе к окончательным размерам изделия, при чем часто изделия более сложной формы требуют нескольких пар матриц, которыми пользуются последовательно. Число операций можно определить только предварительными опытами. Заусеницы с некоторых изделий срезают в специальных обрезающих матрицах.

Действие прессы или молота, в особенности последнего, наиболее сильно на верхней части изделия, а потому в этой части его надо особенно избегать острых углов.

Иногда во избежание замены всей матрицы, те части ее, которые подвергаются особенно сильному изнашиванию, делают заменяемыми из твердой стали и укрепляют винтами (рис. 234). Точно также необходимо укреплять матрицы прочными бандажами. В матрицах можно ковать всевозможные машинные части, скобяные и другие изделия, как мелкие, так и крупные (рис. 232 и 235). Так же как и при штамповании для упрощения конструкции матриц и операций с ними, а также чтобы не ослаблять их устройством отверстий или углублений, часто

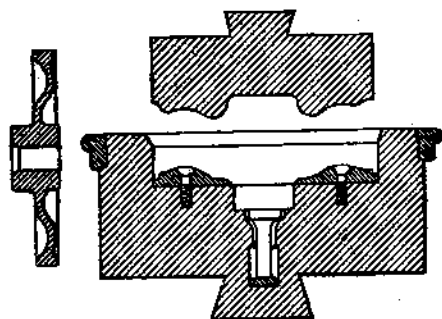


Рис. 233—234.

предпочитают изготавливать изделия без таких отверстий или углублений. Таким образом, крупные коленчатые валы выковывают одним куском и затем в них вырезают кривошипы зубилом или пилой в горячем состоянии. Углубления в головках шатунов, смазочные каналы кривошипов в настоящее время легко выполняются на фрезерных, долбежных или сверлильных станках.

Тем не менее при значительном производстве одних и тех же изделий, как, например, вагонных колес, отверстия во втулке предусматриваются при отливке и обрабатываются ковкой в матрице. Таким образом достигается экономия в металле, и последний сильно

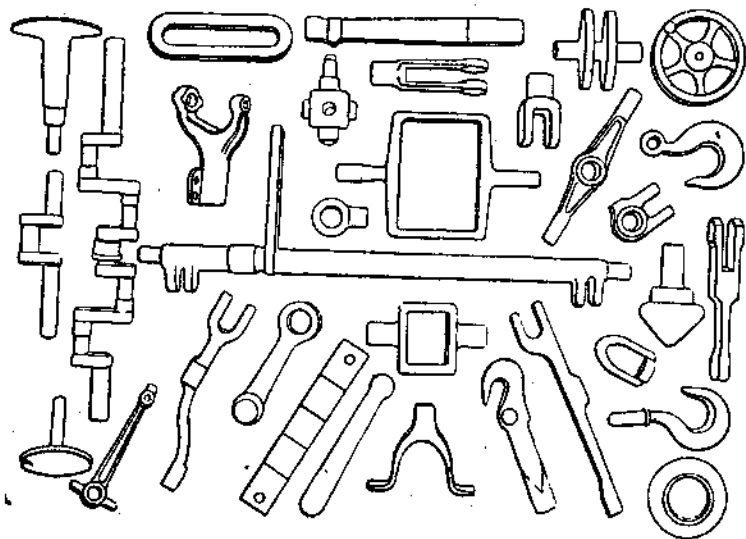


Рис. 235.

проковывается во втулке. Процессыковки в матрицах получили широкое распространение и отлично разработаны. Они ведут к значительному понижению себестоимости и позволяют быструю выделку одинаковых изделий. Однако, с заводской точки зрения, процессы штампования иковки в матрицах, вследствие сложности требующихся для них приспособлений, могут быть выгодны только при значительных размерах производства.

Прессы и молоты дляковки в матрицах и для штампования пуансонами.

Ковка в матрицах и штампование пуансонами мелких изделий потребовали разработки специальных молотов и прессов.

Винтовой фрикционный пресс (рис. 236) приводится в действие механической энергией и представляет сравнительно мощную машину. Им пользуются для быстрого штампования всевозможных изделий одним ударом.

Нижняя матрица прочно прикрепляется к основанию станины. Верхняя матрица или свободна или укреплена на винте, приводимом в движение фрикционным диском; последний обладает значительной инерцией и живой силой.

Дляковки в матрицах изделий простой формы пользуются также обыкновенными бабами, подвешенными на канатах, ремнях или цепях, проходящих через шкив, или механическими молотами (рис. 237—238).

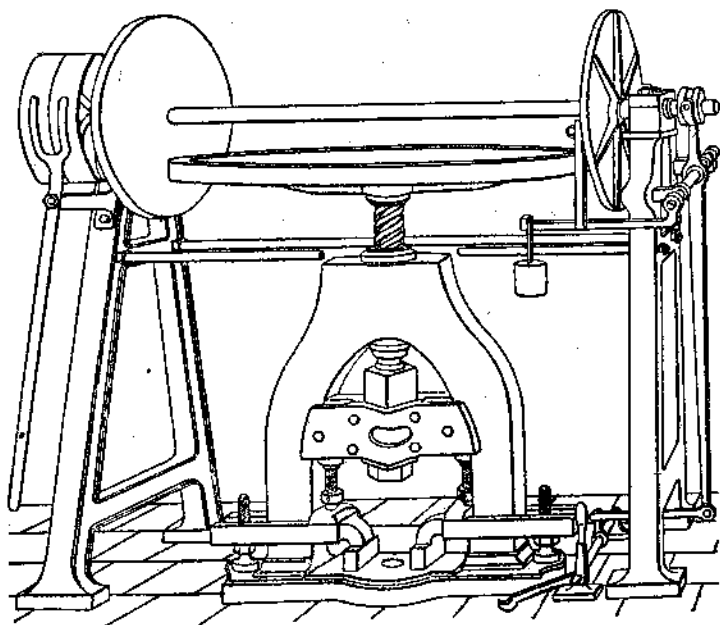


Рис. 236.

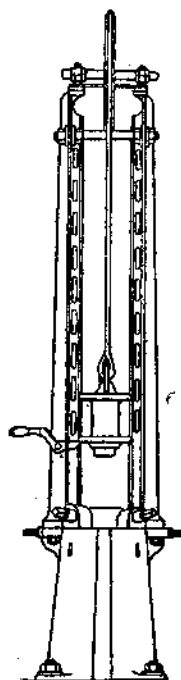


Рис. 237.

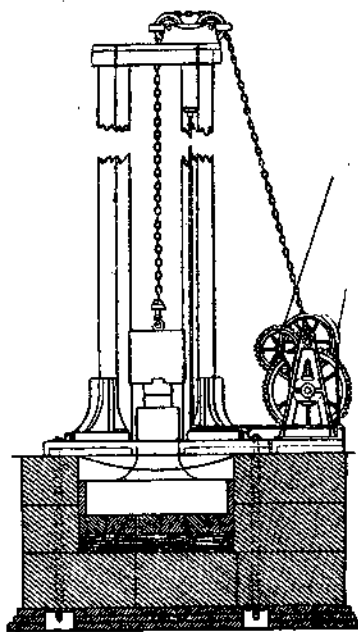


Рис. 238.

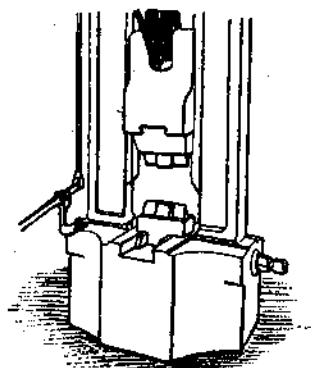
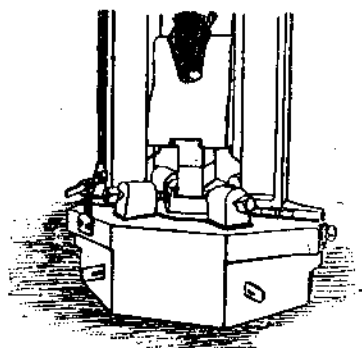


Рис. 239—240.

Молоты отличаются от нормальных ковочных молотов только устройством наковальни и бойка, которые или соединяются с матрицами или делаются отдельными. Нижняя матрица выверяется и укрепляется винтами (рис. 239). Иногда первая черновая операция производится под, так называемым, черновым молотом, после чего обработка заканчивается под двумя чистовыми молотами (рис. 241).

Такая группа молотов называется батареей, которых в мастерской может быть несколько.

Молоты дляковки начерно (рис. 241 и 242) часто снабжают особыми инструментами.

Один молот дляковки начерно обычно обслуживает два молота дляковки начисто.

На рис. 241 представлена батарея молотов типа Массея (Massey), приводимая в действие электромотором.

Батарея состоит, например, из 1) одного молота дляковки начерно с бабой в 400 кг, одного молота дляковки начисто с бабой в 300 кг и одного в 1500 кг или 2) одного молота дляковки

начерно с бабой в 1000 кг, и двух молотов дляковки начисто, одного с бабой в 2000 кг и второго с бабой в 3500 кг.

Каждая батарея дополняется двумя прессами для обрезки заусениц, инструменты которых срезают заусеницы в горячем состоянии одним ударом.

Кроме того, батарея может состоять: из одного молота с бабой в 350 кг, одного — с бабой в 600 кг, одного — с бабой в 900 кг, одного — с бабой в 1.000 кг, с высотой падения в 2 метра, а также помимо того из двух молотов дляковки начерно с бабами в 500 кг и одного с бабой в 150 кг.

Штамповальные молоты или молоты дляковки в матрицах обычно обладают следующими характеристиками:

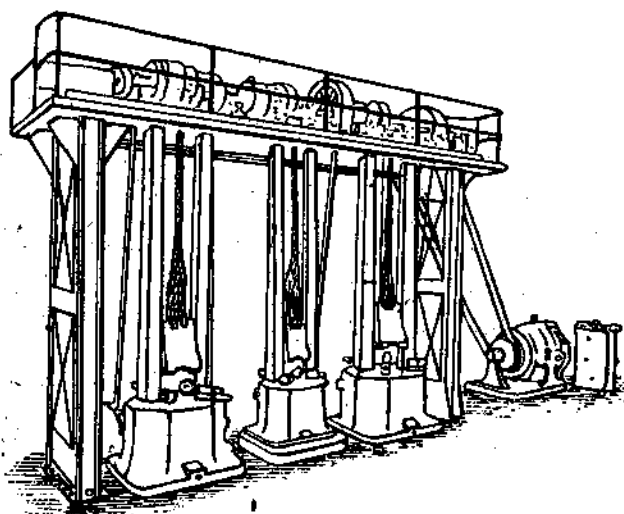


Рис. 241.

Типы молотов	Падающая масса кг	Высота падения м	Максимальная энергия кг.м
Ременный молот	300—700	4—5,00	3 500
„ „	300—1 000	1,80—2,00	2 000
Фрикционный молот	300—1 500	2,00	3 000
Паровой или пневматический молот простого действия . .	300—3 000	1,80—2,0	6 000

Если V — скорость бабы весом P , то потребная для ее подъема мощность $W = PV$.

При $P = 300$ и $V = 2$ м/сек., $W = 300 \times 2 = 600$ кг.м или 8 лш. сил.

Фрикционный молот применяют для производства небольших изделий. Ременный молот допускает большую высоту падения до 5 метров, т.е. развивает скорость в момент удара до 10 метров. Таким образом, достигается энергичный удар, нагревающий металл, доводящий его до белого каления и заставляющий хорошо заполнять все углубления верхней матрицы. Кроме того, большая развиваемая мощность

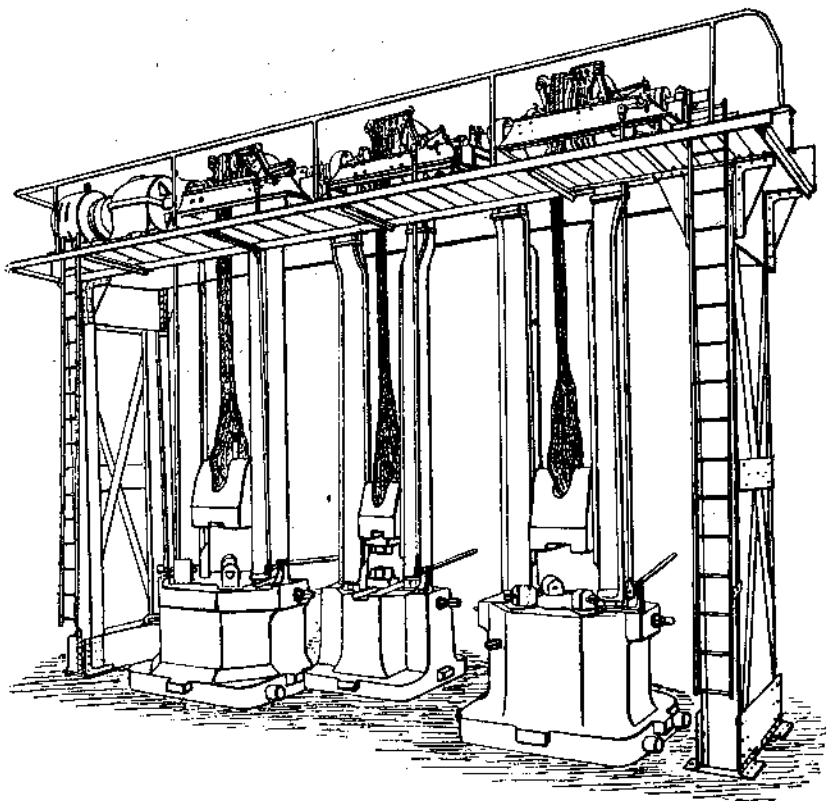


Рис. 242.

допускает ковку в матрицах довольно крупных изделий, как, например, коленчатых паровозных валов, головок шатунов, коленчатых валов моторов и т. п.

Ременный молот обладает тем преимуществом, что в нем достигается упругая связь между приводным механизмом и бабой, производящей удар.

Фрикционный привод молота Бреттса (Bretts), изображенный на рис. 242, 243, 244, состоит из шкива A (рис. 243) с несколькими ручьями, укрепленного на валу шпонкой, и из холостого направляющего шкива B для трех или четырех пеньковых канатов, находящегося рядом с ним. Канаты крепятся к шейке L . Поперечина C соединена с рычагами DD . Последние надеты вхолостую на втулки шкивов A и B . Рычаги DD , соединенные с рычагом C , надеты на вал вхолостую. К последнему рычагу укреплены две или три фрикционные колодки, тормозящие при надобности шкив A .

Поперечина *C* приводится в действие вспомогательным рычагом *F*, веревка от которого наматывается вокруг муфты *G*, укрепленной на валу (рис. 243). Нажимом на рычаг *F* колодки *E* прижимаются к шкиву *A*. Вследствие этого поперечина *C* начинает вращаться вместе со шкивом *A*, наматывая канаты на холостой шкив *B*.

Конструкция, изображенная на рис. 244, веревки не имеет. На вал надета муфта *G* с косою выточкой, в которую входит ролик *L*, установленный на конце рычага *F*. Муфта *G* соединена с поперечным валом *K*, приводящим в действие сцепление.

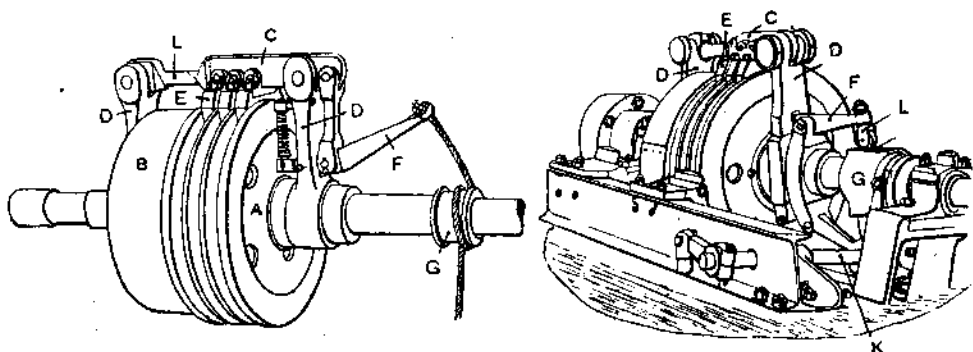


Рис. 243—244.

Батарея (рис. 242) приводится электромотором с шестереночной передачей.

Расход энергии в киловаттах батарей, состоящей из трех молотов с бабами в 1500, 750 и 500 кг, изображен диаграммой на рис. 245.

Паровые или лучше пневматические молоты должны обладать большой ударной массой, большой высотой падения и для развития большой мощности должны быть двойного действия.

На рис. 246 изображен тип молота Массея, не представляющий каких-либо особенностей.

На рис. 247 изображен молот типа Бемент (Vement) двойного действия, управляемый автоматическим ручным приводом, применяющийся для самых разнообразных работ.

Ноги станины вделаны в стул во избежание всякого бокового перемещения, при чем под гайками болтов установлены пружины, обеспечивающие достаточную упругость.

Между цилиндром и верхней частью станины положена стальная плита, предохраняющая цилиндр от ударов. Впускной клапан цилиндрический и связан соответствующим механизмом с уравновешенным маневренным клапаном поршневого типа.

Наковальня, на которой помещается матрица, — стальная, врезана в стул и укреплена клиновидной шпонкой.

Ползун, к которому прикрепляется матрица, отлит из стали с большим содержанием углерода. Поршневая скалка из никелевой стали подвергается специальной термической обработке, обеспечивающей ей большую продолжительность службы.

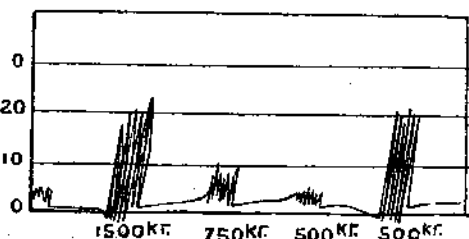


Рис. 245.

Молоты с падающей бабой весом в 275, 365 и 455 кг имеют стальные наковальни, отлитые одним куском.

Наковальни делаются иногда из одной или двух частей, и в этом последнем случае нижняя ее часть делается чугунной. Вес наковальни больше веса падающей массы в 15—18 раз.

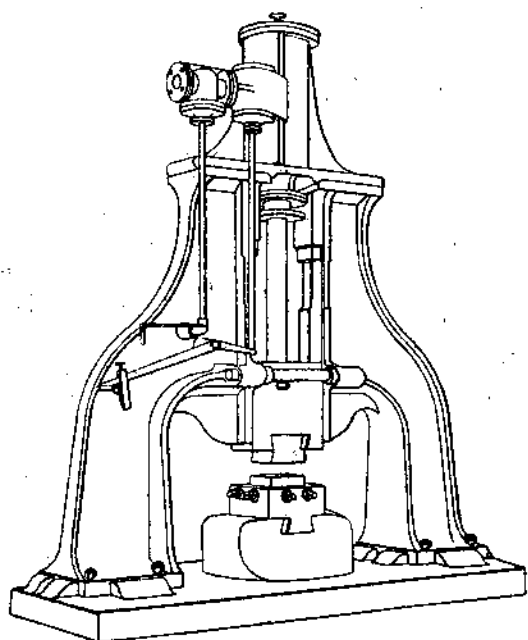


Рис. 246.

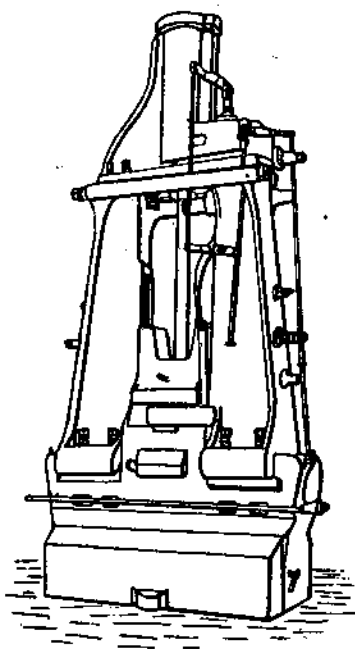


Рис. 247.

Технические характеристики молотов Бемента.

Вес ударной массы кг	275	365	455	680	910	1 140	1 360	1 600	1 800	2 300	2 700
Диаметр цилиндра мм	165	178	203	229	260	279	305	317	356	381	406
Ход поршня	760	760	965	965	1 070	1 070	1 120	120	1 120	1 270	1 270
Расстояние между направляющими . . мм	406	406	457	457	534	534	610	610	610	710	710
Вес наковальни . . кг	2 600	3 550	4 540	5 450	6 360	6 800	10 450	11 000	11 350	13 650	14 550
Энергия массы . . кг.м	210	280	440	650	970	1 220	1 520	1 800	2 000	2 900	3 400
Энергия от давления пара ($p = 7 \text{ кг/см}^2$) . кг.м	1 160	1 340	1 960	2 200	4 070	4 650	5 800	6 300	8 000	10 000	11 800
Полная развиваемая энергия кг.м	1 370	1 620	2 400	2 850	5 040	5 870	7 320	8 100	10 000	12 900	15 200

Вместо резких ударов иногда лучше пользоваться более медленным давлением, но все же более быстрым, чем постепенно нарастающие давления.

Стальные матрицы, необходимые для работ под молотом, при работе под прессом можно заменять чугунными.

Пресс, если он достаточной мощности, дает более однообразные изделия с лучшей законченностью, так как металл подвергается давлению, распространяющимся лучше давлений, производимых ударом.

Изделия среднего размера можно ковать начерно под молотом и затем заканчивать под прессом.

Для обработки изделий среднего размера применяют паровые прессы, работающие быстрее гидравлических.

На рисунках 248—249 изображен такой пресс типа Массея с двумя цилиндрами, которые могут действовать или одновременно или поодиночке. Оба цилиндра *A* и *B* имеют поршни с очень небольшой длиной хода. На верхнем поршне помещается подвижная балка, к которой прикрепляется верхняя матрица. Нижний поршень связан с верхним прочной скалкой *C*. Впуск пара в один или в оба цилиндра производится, по желанию, кранами.

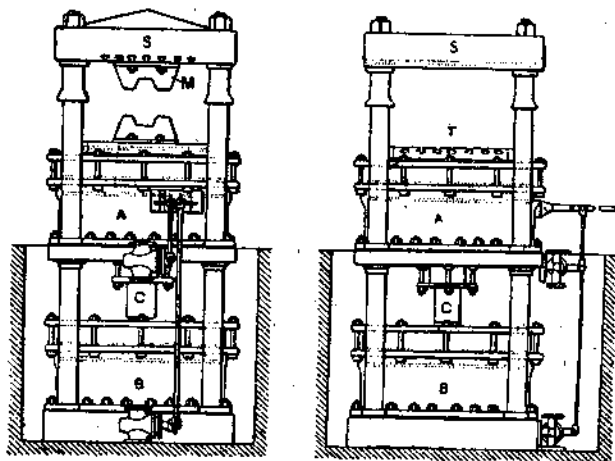


Рис. 248—249.

Вторая матрица укреплена к столу прессы. Так как поршни движутся со значительной скоростью, то в момент контакта матриц с поковкой получается некоторый удар, после чего давление распространяется на все точки металла. Давление под-

держивают более или менее продолжительный промежуток времени, в зависимости от характера поковки.

При выпуске пара поршни сами собой возвращаются в исходное положение. Диаметр поршней 1200 мм, давление пара колеблется между 5 и 10 кг/см². Пресс может развивать усилие от 100 до 200 тонн.

При сварке в матрицах нескольких отдельных частей число ударов можно доводить до двадцати в минуту. В этом случае пресс действует совершенно так же, как и паровой молот.

Максимальный ход верхней балки равняется 380 мм; эту балку можно отводить от наковальни на 600 мм.

Такие прессы применяются и дляковки мелких изделий, как, например, дляковки рычагов, крышек лазов котлов, доньев стальных цилиндров, гаечных ключей, рукояток и т. п. Под такого рода прессами на заводах Массея обрабатывают стальные фундаментные плиты ковочных молотов.

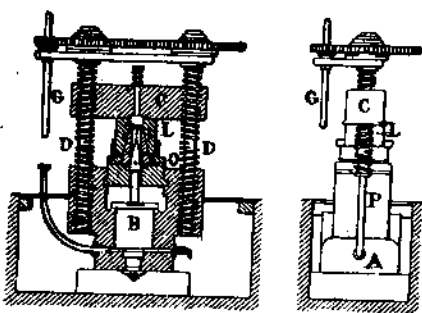


Рис. 250—251.

Приведем еще пресс, применяемый Брюноном (Brunon)¹⁾, для энергичного высаживания металла в матрицах (рис. 250—251).

Поковка *R* сжимается оправкой *O* в матрице; обе половины матрицы удерживаются балкой *C*, устанавливаемой на определенной высоте винтами *D*, входящими в тело *A* прессы. Ныряло *B* приводится во вращение гидравлическим аккумулятором. Винты приводятся в движение для изменения расстояния между подвижной матрицей и неподвижной. Ныряло прессы в момент контакта движется

¹⁾ Патент 9 марта 1876 г. Первый пресс был построен в 1852 г. в Аахене.

со скоростью в 40 мм в секунду. Этот способ работы особенно пригоден, когда изделие имеет центральное отверстие, как то показано на рис. 250. Оправка О имеет коническую или параболическую форму и давит металл изнутри внаружу.

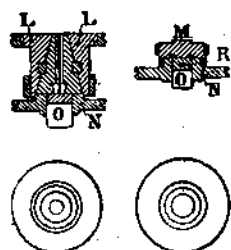


Рис. 252—253.

На рис. 252 изображенаковка в матрице под прессом тарелки вагонного буфера. На рис. 253 изображенаковка крышки котельного лаза. Гидравлический пресс обычного типа Генри Берри дляковки в матрицах изображен на рис. 254. Матрицы укрепляются на столе и в головке пресса.

В других моделях прессов гидравлический цилиндр помещается вверху, а нижний стол делается неподвижным.

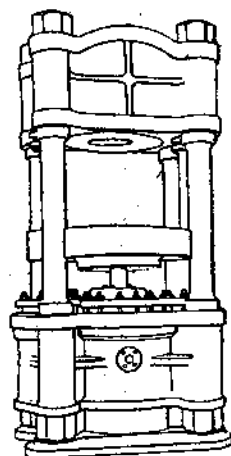


Рис. 254.

VII. Клепка.

Клепка представляет собой операцию, применяемую для соединения наглухо двух отдельных изделий (рис. 255—258) при помощи заклепки (рис. 259—260). Заклепка состоит из стержня с начальной головкой. Образование второй замыкающей головки производится при установке заклепки на место.

Клепка заключается в расплющивании выступающей части заклепки и образовании второй головки. Эта операция производится или повторными ударами молотка, или непрерывным давлением пресса.

Заклепочное соединение чаще всего применяется для соединения листов и полос. Головка чаще всего сферической формы, образуется вхолдную клепальным молотком (рис. 264), затем заканчивается начисто и чеканится закаленным инструментом, высаживающим металл. Во время работы заклепку поддерживают со стороны начальной головки, чтобы она не вылетела обратно при ударах.

Небольшие железные и медные заклепки всех размеров ставят вхолдную.

Работы ведут вгорячую, если диаметр заклепки превышает 10 мм, если швы должны быть очень плотными и соединяемые части должны плотно прижиматься друг к другу. Кроме того, при больших диаметрах заклепок работать можно только при высокой температуре металла.

Заклепочные соединения получили громадное значение вследствие развития металлических конструкций, отдельные части которых соединяются заклепками.

При работе молотком, заклепку поддерживают со стороны начальной головки опорной обжимкой, укрепленной на рукоятке или специальной подпорке (рис. 265—267). Вес опорной обжимки должен быть по крайней мере в четыре или в пять раз больше веса молотка.

Выступающая часть заклепки высаживается двумя или тремя рабочими, наносящими частые удары молотками весом в 1 или 2 кг. После этого формируют замыкающую головку гайки обжимкой, укрепленной на рукоятке (рис. 268—269). По обжимке бьют молотком весом

в 4—8 кг, в зависимости от диаметра заклепки. Операция при котельных работах дополняется чеканкой. Чеканки делают различной формы (рис. 270), концы их скашиваются под таким углом, чтобы они не срезали металла листа и не углублялись в него (рис. 272). Рекомендуется применять закругленные чеканки. Кроме того, применяют такие заклепки, головки которых под обжимкой образуют круговую заусеницу, получающуюся от избытка металла, предусмотряемого при производстве заклепок. Эта заусеница облегчает чеканку, которая производится при этом в лучших условиях.

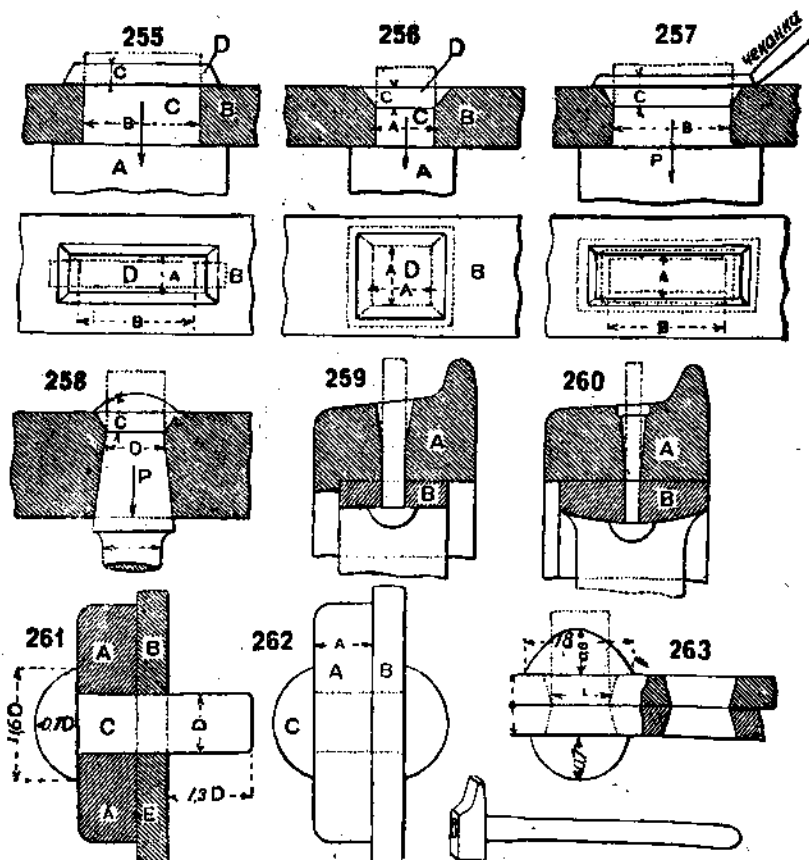


Рис. 255—264.

Клепке молотком ставят в упрек то, что при ней недостаточно высаживается стержень заклепки, если соединяемые листы обладают значительной толщиной. Стержень в этом случае плохо заполняет отверстие вблизи головок, в особенности в различных частях отверстий, оси которых не вполне совпадают друг с другом (рис. 273). При механической клепке металл заклепки заполняет все пустоты и его можно сжать настолько сильно, что если разрезать шов по оси заклепки, то трудно заметить линии соединений (рис. 274—275).

Механическую клепку применяют преимущественно при постановке крупных заклепок, например, при постройке мостов и судовых котлов. Крупные заклепки требуют приложения значительных усилий, вследствие чего ручная постановка их становится слишком тяжелой работой. Ручная работа в этих случаях занимает много времени,

обходится слишком дорого и недостаточно удовлетворительна, так как при диаметрах заклепки свыше 25 мм приходится пользоваться недостаточно тяжелыми молотками.

Механическая клепальная операция очень проста. Начальная головка заклепки упирается в опорную обжимку А (рис. 276), состав-

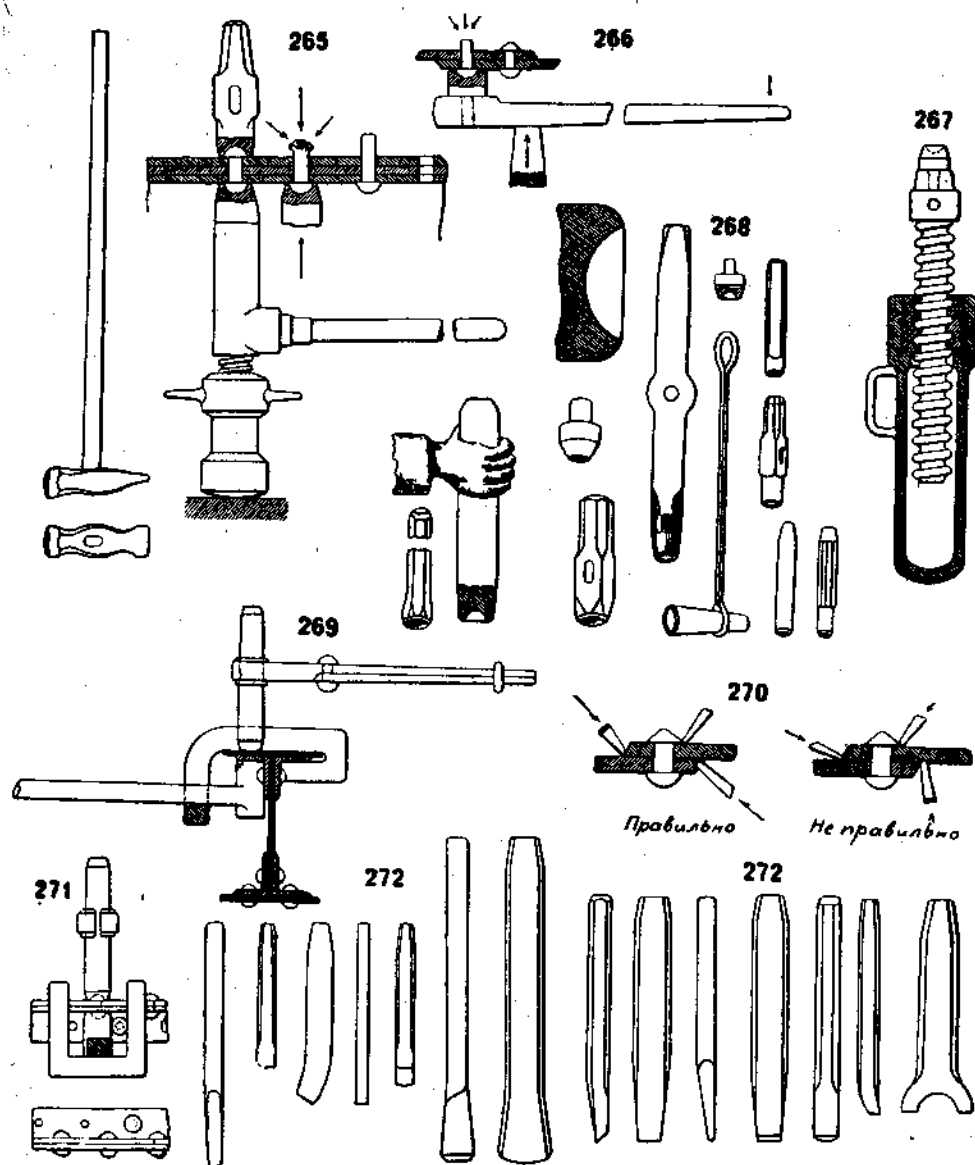


Рис. 265—272.

вляющую одно целое со станиной машины. Рабочая обжимка монтируется на головке ударника,двигающегося в соответствующих направляющих. На эту обжимку действует механическое усилие в виде давления или ударов и раздавливает металл, образуя замыкающую головку.

В зависимости от условий, производительность клепальной машины достигает от 100 до 200 заклепок в час, тогда как при ручной

работе трое рабочих могут поставить только от 30 до 60 заклепок в час, в зависимости от их диаметра. Клепка под прессом очень однообразна и гораздо лучше ручной. Давление прессы можно хорошо регулировать. Клепальная машина обладает также тем большим достоинством, что при большой толщине листов позволяет, посредством вспомогательного приспособления, предварительно стягивать их между собой.

Высаживание стержня давлением производится в лучших условиях, избегаются заусеницы, препятствующие плотному прилеганию листов, и достигается плотный контакт между последними.

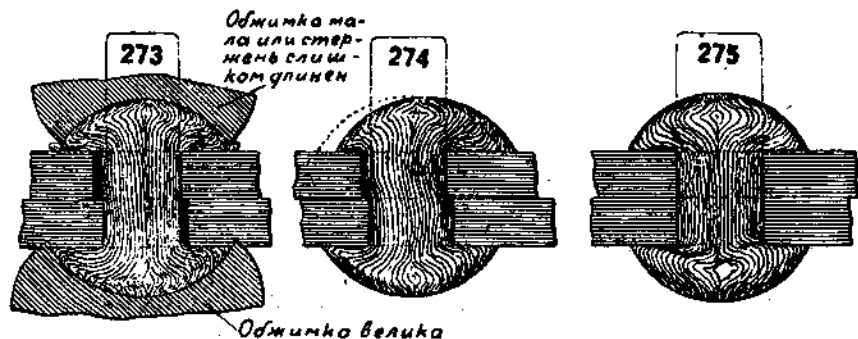


Рис. 273—275.

Точно также при клепке давлением достигается лучший упор начальных головок, нежели при ударах. Давление развивается без вибрации, разрушительно действующей на соседние заклепки. Давление может быть длительным; продолжительность его можно изменять по желанию до определенного охлаждения заклепки. Сокращение длины стержня заклепки развивает максимальное напряжение, и можно достигнуть непроницаемости шва даже без дальнейшей чеканки.

При горячей клепке, во избежание разрыва стержней, рекомендуется заканчивать операцию раньше охлаждения заклепки до 200—250°. Этим избегается отрыв головки вследствие сокращения длины вызывающего напряжения, превышающего сопротивление металла разрыву, или напряжения, превышающего предел упругости. Эти явления особенно сильны при длинных заклепках, свыше 100 мм, устанавливаемых в горячем состоянии.

На практике мало считаются с этим теоретическим правилом, прикладываемым только к не текучему металлу, тогда как заклепки всегда изготовляются из металла, способного выдерживать без трещин быстрые изменения формы, обладающего большим сопротивлением и большим относительным удлинением. Все это позволяет производить установку заклепок при очень высоких температурах.

Так, например, прекрасные заклепочные соединения получаются при постановке заклепок, нагретых до температуры свыше 1000°. Постановка таких заклепок занимает несколько секунд, т.е. когда температура средних частей стержня превышает еще 800°.

Клепку в зависимости от обстоятельств обычно заканчивают при температурах свыше 500°. Такая клепка не оставляет желать лучшего,

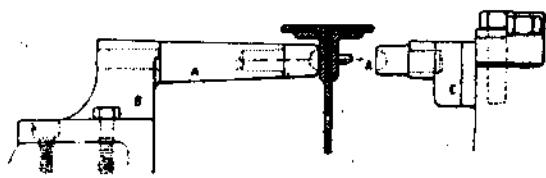


Рис. 276.

прекрасно стягивает листы и вместе с тем не сопровождается отрывами головок. На практике часто даже удлиняют период действия обжимок клепальных машин для увеличения стягивающего усилия, чтобы таким образом использовать максимальное упругое сопротивление металла. Однако, таким образом можно действовать, если железо или сталь обладают упругим сопротивлением, возрастающим при постоянных удлинениях, которым они подвергаются.

Достаточно напомнить, что если испытательный брусок подвергается возрастающим удлинениям, то его предел упругости непрерывно возрастает до самого разрыва. Какова бы ни была продолжительность этого периода, можно констатировать, что упругое удлинение и соответствующий предел упругости остаются в том же соотношении.

Таким образом, отсюда вытекает, что если стержень заклепки сокращается, то он вызывает удлинение, соответствующее все более и более повышающемуся пределу упругости.

При железных и стальных заклепках надо опасаться понижения текучести металлов при критических температурах между 300° и 400°. В этот момент удары на соседнюю заклепку могут вызвать появление трещин у оснований головок уже поставленных перед тем, которые еще не охладилась до температуры ниже 300°.

Таким образом, при ручной клепке не следует ставить следующей заклепки раньше, чем достаточно не охладится предыдущая заклепка.

Разрывы надо приписать критическому периоду текучести металла, и потому одним из дальнейших преимуществ прессы является то, что он не вызывает вибраций, способствующих этим разрывам.

Для заклепок необходим металл, обладающий достаточным упругим сопротивлением, дающим хорошее стягивание листов (20—25 кг/мм² для железа или мягкой стали) и обладающий также очень высокой текучестью.

Для соединения листов паровых котлов высокого давления пользуются заклепками из мягкой стали с сопротивлением разрыву $R_t =$ от 42 до 44 кг/мм². При более мягком металле заклепки не дают достаточно плотных швов.

Если бы металл заклепок не удлинялся, то были бы возможны разрывы их стержней, даже в том случае если клепка заканчивается при температуре в 250°.

Если железные или стальные заклепки при окончательном падении температуры до 200° обладают коэффициентом расширения $\delta = 0,0000123$ на один градус температуры и коэффициентом упругости $E = 20\,000$, то развивающееся в стержне напряжение будет:

$$R = E\delta t = 20\,000 \times 0,0000123 \times 200 = 49 \text{ кг/мм}^2.$$

Несомненно, что при меньших усилиях, стержень заклепки удлиняется и находится в состоянии напряжения, близком к пределу упругости. Этот предел достигается при падении температуры, примерно, до 100°.

Стержень длиной 50 мм в свободном состоянии при охлаждении в 600° укоротился бы на

$$50 \times 600 \times 0,0000123 = 0,369 \text{ мм},$$

тогда как упругое удлинение его равно всего лишь:

$$l = \frac{R}{E} = \frac{20}{20\,000} = 0,001 \text{ мм}.$$

Таким образом, при длине стержня в 50 мм, упругое удлинение равняется 0,05 мм. Остающееся удлинение равняется 0,369 мм — 0,05 мм = 0,319 мм, что составляет, примерно, 0,6% длины. Металл же заклепок может удлиняться от 15 до 20 и более процентов.

Опыты показывают, что лучшим способом клепки является тот, при котором заклепки нагревают до светло-оранжевого каления, сильно сжимают их под прессом, поддерживая давление до почернения головки. Давление оказывает очень благоприятное влияние, стержень лучше сжимается и лучше заполняет углубления и пустоты отверстий, заклепка меньше удлиняется от реакции листов, и достигается более энергичное окончательное стягивание и максимальное трение между склепанными листами.

Установлено, что сопротивление трения между склепанными листами при пробивке отверстий пуансоном и обрезке заусениц значительно больше, нежели при просверленных отверстиях. Сопротивление разрыву также больше при пробитых отверстиях. Однако, это обстоятельство не может покрыть недостатка несовпадения осей отверстий, которого не бывает при сверлении их сначала и затем отделке разверткой. Кроме того, при пробивке пуансоном наблюдается неплотный контакт листов, вследствие остающихся заусениц. Оси пробитых пуансоном отверстий очень часто не совпадают, отчего приходится брать заклепки с меньшими диаметрами стержня.

Такие заклепки входят косо относительно плоскости шва и если только не выправить выступающую часть стержня, то головки окажутся сдвинутыми (рис. 274). Этот недостаток особенно проявляется при механической клепке, при неправильной установке листов и при неудовлетворительном направлении обжимов.

При хорошей клепке можно допускать, что стержень подвергается на единицу сечения реакции R , несколько больше начального предела упругости холодного металла. Это позволяет рассчитать стягивающее давление P , вызывающее трение шва, которое имеет весьма серьезное значение.

Полное усилие, действующее на стержень диаметром d , будет $P = \frac{\pi d^2}{4} R$. Оно вызывает одинаковые давления P на каждую из опорных поверхностей головок и на каждый заклепочный шов. Сопротивление трения между обеими поверхностями склепанных листов равняется $2Pf$ (где f — коэффициент трения).

Если при испытании сопротивлений трения измерено усилие $2Pf = P'$, вызывающее скольжение листов шва, то можно рассчитать что

$$f = \frac{P'}{2P} = \frac{2P'}{\pi d^2 R}.$$

Относя сопротивление трения шва A к единице поперечного сечения заклепки и имея в виду, что существуют две поверхности соприкосновения, можно написать, что

$$A = Rf = \frac{4Pf}{\pi d^2} = \frac{2P'}{\pi d^2}.$$

Полученное таким образом сопротивление трения колеблется в больших пределах (от 6 до 25 кг/мм²) и зависит от условий постановки железных и стальных заклепок. Так, например, клепка, произведенная молотком, дала сопротивление трения, равное 12 кг/мм² сечения заклепки, тогда как при механической клепке сопротивление

трения равняется 26 кг/мм^2 , что дает при $R=25 \text{ кг/мм}^2$ следующие значения f :

$$f = \frac{12}{25} = 0,48 \text{ и } f = \frac{26}{25} = \infty 1.$$

Можно видеть, что если установка вручную небольших заклепок производится слишком быстро, то реакции, от которых зависит удлинение стержня соседней заклепки и стягивание головок заклепок, могут понизиться настолько, что заклепку можно повернуть рукой в ее отверстие. В таком случае сопротивление трения будет равняться нулю.

Если отверстие при окончании горячей клепки совершенно заполнено металлом, то все же никогда не достигается действительного контакта со стенками отверстия, даже при машинной работе, так как при охлаждении и удлинении заклепки диаметр ее при обычных размерах уменьшается, примерно, на 0,1 миллиметра.

Можно считать, что все заклепки работают исключительно продольным сопротивлением трения, которое одно противодействует внешним усилиям. При холодной клепке можно допустить, что соприкосновение между всеми частями шва получается полным.

Давление клепки.

Давление, развивающееся при клепке, зависит от сопротивления раздавливанию металла, от сечения заклепки и от степени ее деформации.

При ручной клепке очень трудно оценить давление, развиваемое ударом. Чтобы установить возможно ближе усилие, соответствующее клепке, не оставляющей желать ничего лучшего, приходится прибегать

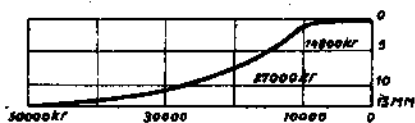


Рис. 277.

к прессу, дающему переменные нагрузки. В различных произведенных нами опытах было затруднительно установить закон усилий раздавливания горячих заклепок, так как температура быстро изменялась от соприкосновения с инструментами и склепываемыми ли-

стами. При холодной клепке можно вывести закон изменения усилий с большей точностью и определить последовательные формы заклепки, как то показано на рис. 277 и таблице 25.

Мы приводим здесь опыт, при котором стержень заклепки был несколько длиннее и объем выступающей части был больше объема, потребного для образования головки. В начале операции стержень высаживался по всей своей длине. С первых же миллиметров сближения обжимов листы находятся в тесном контакте друг с другом, затем выступающая часть стержня высаживается сильнее, поверхность соприкосновения с инструментом мало-по-малу увеличивается, головка постепенно трескается на своей окружности. Трещины появляются с первых моментов раздавливания стержня, когда удлинение окружности достигает около 20%.

При окончательном удлинении окружности, достигающем $\frac{24,5-14}{14} = \frac{10,5}{14}$ или 75%, можно видеть, что особенно сильные трещины появляются при холодной клепке. Таким образом, холодная клепка воз-

Характеристика образца	Разные размеры	Сжатие заклепки	Давление	Давление на мм^2 сечения отверстия	Энергия	П р и м е ч а н и я
Механическая клепка в холодную		0,5	5 500	34	2,5	
Железная заклепка		1	7 800	48	6	
		2	9 000	55	14	
		3	10 000	61	23,2	Исчезает зазор между стержнем и стенками отверстия.
Начальный диаметр стержня заклепки	14 мм	4	10 500	64	33,2	
Начальный диаметр отверстия	14,4 мм	5	11 800	72	44,3	
Сечение отверстия	162,8 мм ²	6	13 200	81	56,5	
Толщина листов	18,5 мм	7	15 500	95	71	
Длина заклепки	40 мм	8	18 400	113	88	На заклепке образовались три трещины.
Окончательный диаметр стержня	16,25 мм	9	22 000	135	108,3	Число трещин увеличилось (см. рис. 277).
Окончательное сечение стержня	207 мм ²	10	27 000	166	132,3	При испытании на срезание заклепка лопнула. Металл в изломе был мелкозернистого строения, тогда как в первоначальном изломе не замечалось зернистой структуры.
Давление на окончательное сечение стержня	242 кг/мм ²	11	32 000	196	161,1	
		12	40 000	246	196,6	
		13	50 000	307	241	
Клепка при вишнево-красном калиении. Железная заклепка.		1	1 800	11	1,3	
		2	1 900	11,7	3,1	Результаты этого опыта не расчитывались, а были получены по диаграмме самопишущего аппарата испытательной машины (модель Делатоз).
		3	2 000	12,3	5	Эта диаграмма (рис. 280) вычерчена в том же масштабе, как и диаграмма опыта холодной клепки.
		4	2 100	12,9	7	
		5	2 400	14,6	9,2	
		6	3 700	22,7	12,2	
		7	4 400	27	16,2	
Окончательный диаметр заклепки	14,8 мм					
Окончательное сечение стержня	172 мм ²					
Давление на окончательное сечение стержня	104 кг/мм ²	8	5 800	35,6	21,3	
		9	7 300	45	27,7	
		10	9 600	59	36	
		11	12 300	75,5	46,6	
		12	18 000	110	61,5	

можно только при очень текучем металле заклепок, как, например, отожженной меди или специальном литом железе.

При ручной клепке (рис. 278—279) металл деформируется совершенно иначе. Стержень заклепки не высаживается, а верхняя часть ее расплющивается тем сильнее, чем слабее удары. При этом образуются многочисленные трещины и отделяются частицы металла. Это указывает, что если последний не обладает достаточной текучестью, то холодная клепка непригодна, за исключением клепки впотай.

Холодная клепка молотком.

Слабые удары. Сильные удары.

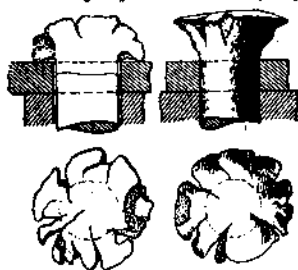


Рис. 278.

При горячей клепке под обжимку, заклепки также покрыты видимыми глазом трещинами, в особенности если головка сильно осаживалась молотком или отклонилась от оси стержня. Поэтому лучше наносить только несколько ударов скорее сильных, нежели слабых и пользоваться обжимом с самого начала операции, образовывая головку высаживанием стержня, а не раздавливанием его верхней части.

В заклепке, рис. 279, можно заметить очень резкое относительное увеличение диаметра стержня и отверстия, достигающее от 14 до 16,25 мм, т.-е. удлинение окружности, примерно, в 140%, вызывающее уже трещины в отверстиях, если только они не пробиты пуансонами или если металл не обладает большой текучестью. При горячих заклепках это увеличение диаметра, если окончательное давление не чрезмерно, не существенно.

На том же рисунке видно, что головка отчасти вдавилась в железо листа и что обжимы оставили легкий след на листах, которые несколько соштамповались под давлением в 50 000 кг.

Эти деформации показывают, что для образования головки не следует оставлять слишком много металла, а также, не следует

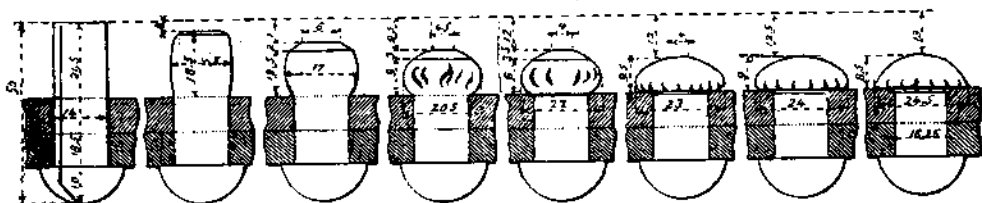


Рис. 279.

применять чрезмерного давления ¹⁾. При горячей клепке металл может высаживаться за окружность обжимки, но большая часть его высаживается в отверстие, которое, расширяясь свыше меры, дает трещины. Надо добиваться хорошо сформированной головки без заусениц. Объем выступающей над поверхностью листа части стержня должен также соответствовать объему металла, высаживаемого в отверстие.

¹⁾ При листах из мягкой стали сильное высаживание стержня заклепки особенно опасно. Приведем следующий пример: в стальном листе, составляющем часть котельного барабана, немного спустя после сборки произошел внезапный разрыв по линии заклепок на протяжении свыше метра. Этот разрыв можно приписать реакциям стержня заклепок на отверстия и слабой текучести стали после клепки. Эта сталь обладала при испытаниях на разрыв сопротивлением в 44 кг/мм² при удлинении в 24 процента.

Объем этот тем больше, чем больше толщина склепываемых листов и чем точнее совпадают оси их отверстий.

При ручной клепке припуск длины для этой цели должен быть от 0,1 до 0,2 толщины склепываемых листов, тогда как при машинной клепке необходимо предусматривать больший запас металла на высадку стержня и доводить припуск от 0,2 *l* до 0,3 *l*.

Давление на квадратный миллиметр поверхности головки в рассматриваемом опыте достигло

$$\frac{50\,000}{\frac{3,14 \times 24,5^2}{4}} = \frac{50\,000}{471} = 106 \text{ кг/мм}^2$$

и на квадратный миллиметр окончательного сечения стержня

$$\frac{50\,000}{207} = 242 \text{ кг/мм}^2,$$

на квадратный миллиметр первоначального сечения стержня

$$\frac{50\,000}{154} = 325 \text{ кг/мм}^2.$$

Эти давления можно считать чрезмерными, поэтому они вызвали резко выраженное высаживание стержня, диаметр которого из 14 мм сделался равным 16,25 мм.

При аналогичных опытах можно было констатировать, что при холодной клепке стержень достаточно высаживается и заполняет отверстие без значительного увеличения диаметра при давлениях от 180 до 200 килограмм на мм² первоначального его сечения.

При горячей клепке температура оказывает большое влияние на операцию. Хорошие результаты получаются при конечных давлениях от 60 до 100 кг/мм², в зависимости от степени нагрева. Давление от 60 до 70 кг/мм² не может дать хорошей склепки, если металл—железо или мягкая сталь находится при температуре ниже 700°, т.-е. при темно-красном калении. Если клепальная машина не может развить давлений от 90 до 100 кг/мм², заклепку надо нагревать до желто-оранжевого каления, т.-е. до температуры от 1000 до 1100° и действовать быстро, стремясь, если то возможно, вызвать таранный удар. Таким образом, можно ставить заклепки диаметром до 20 мм, пользуясь 20-тонной клепальной машиной.

При небольших конечных давлениях стержень можно высадить в достаточной мере, но головка образуется плохо. Иногда плотная, непроницаемая клепка достигается при конечных давлениях свыше 150 кг на кв. миллиметр сечения стержня, что позволяет уменьшить температуру нагрева. При постановке одной и той же машиной заклепок разного диаметра регулировать операции лучше всего посредством изменения температуры. Кроме того, избыточное давление всегда компенсируется лучшим выполнением работы.

Кривая давлений при горячей клепке (рис. 280) мало отличается по своему общему характеру от кривой давлений при холодной клепке, но давления сильнее возрастают к концу операции. Можно видеть, что крайняя ордината, если бы давление продолжалось до

полного остывания, стремится к значению, равному ординате при холодной клепке. Кривые позволяют сравнивать оба процесса клепки, с точки зрения потребных для нее усилий и энергии, для чего достаточно лишь рассчитать отношение затраченных энергий: $\frac{241}{61,5} = \infty 4$.

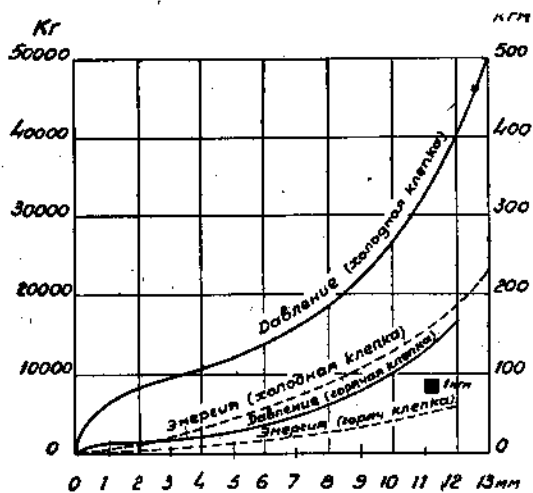


Рис. 280.

При холодной клепке в условиях опытов потребовалось бы, примерно, вчетверо большая энергия, нежели при горячей клепке.

Средняя энергия на единицу первоначального сечения стержня заклепки будет:

при холодной клепке

$$\frac{241}{154} = 1,56 \text{ кг.м; при горячей}$$

$$\text{клепке } \frac{61,5}{154} = 0,4 \text{ кг.м.}$$

Таким образом, потребную энергию для заклепки диаметром d , геометрически подобной предыдущей, можно рассчитать по формулам:

При холодной клепке: $W = \frac{\pi d^2}{4} \times 1,56 = 1,22 d^2$.

При горячей клепке: $W = \frac{\pi d^2}{4} \times 0,4 = 0,314 d^2$.

Так, например, заклепка диаметром 25 мм требует:

При холодной клепке: $W = 1,22 \times 625 = 762 \text{ кг.м.}$

При горячей клепке: $W = 0,314 \times 625 = 196 \text{ кг.м.}$

Чтобы рассчитать энергию, затрачиваемую клепальной машиной, эти значения надо удвоить или утроить.

Если относить работу при клепке к среднему усилию p , развиваемому на стержне, и принять, что полезное перемещение обжимки равняется диаметру d заклепки, то работа или затрата энергии выразится следующим уравнением:

$$W = \frac{\pi d^2}{4} \cdot p \cdot d = 0,8 p d^3 \text{ кг.м.}$$

При холодной клепке p может колебаться от 60 до 80 кг для железа и стали, а при горячей клепке p может изменяться от 15 до 25 кг и выше, в зависимости от температуры заклепки.

Одним из главных условий надежности клепки является сопротивление трения шва и сопротивление срезанию, которое зависит от того, производится ли клепка вручную или механически.

Мы приводим на таблицах 26 и 27 результаты опытов, произведенных над горячей и холодной ручной клепкой молотком при заклепках из литого кованого железа.

Результаты показывают, что клепанный шов при холодной клепке обладает почти одинаковым сопротивлением, как и при горячей клепке под обжимку. Поэтому при специальных работах, как, например, при ремонтных и других, и когда не требуется сильного сопротивления трения шва, клепку можно производить безразлично обоими способами.

Выше мы видели, что на практике затруднительно ставить входную крупные заклепки под обжимку и что при горячей клепке сопротивление трения шва или сопротивление скольжению, при заклепках из мягкой стали, может превышать 30 кг на кв. миллиметр.

В обычных условиях следует принимать сопротивление скольжению равное 15 кг ¹⁾.

Клепальные машины.

Простая, но повторяющаяся до бесконечности, операция клепки имеет чрезвычайно важное влияние на прочность и безопасность сооружений. Она вызвала появление целого ряда клепальных машин, которые можно подразделить на машины, действующие ударом и машины, действующие непрерывным давлением. Последние — наиболее употребительные.

Клепальные машины можно разделить еще на переносные и стационарные. Что касается приводящей их в действие энергии, то она доставляется паром, водой, воздухом, углекислотой или электрическим током.

Мы опишем здесь схематически только наиболее интересные машины.

Чеканка вызвала также применение небольших механических молотов, о которых мы скажем несколько слов.

Клепальный молот Аллена и Рэдера ²⁾.

Механические клепальные молоты применяются почти исключительно при сборочных работах, когда требуется переноска их с места на место.

Молот Аллена и Рэдера работает сжатым воздухом, поступающим по гибкому шлангу.

На рис. 281 видно, что станина *J* молота укрепляется к склепываемым листам винтом *T* с гайкой. Неподвижная обжимка укреплена к кронштейну *Q*, поворачивающемуся вокруг винта *T*. Ударник *R* оканчивается внизу обжимом, соответствующим головке заклепки, как то показано на рис. 282 и 283, для того, чтобы можно было высаживать заклепку и образовывать головку слабыми ударами. Для равномерного обжима всех частей головки, ударник постепенно поворачивается храповиком и пальцем (рис. 286), движение которых вызывается прямолинейно возвратным движением ударника. Последний имеет палец, входящий в спиральную прорезь в гильзе *M*, соединенной с пальцем храповика.

Распределение воздуха после пуска в ход, производится автоматически. Отрабатывший при опускании ударника воздух используется для его подъема, путем воздействия на распределительный механизм.

На рис. 288 изображен усовершенствованный вариант этого молота. Молот — переносный и допускает поворот суппорта инструмента. На рисунке 289 изображены детали крепления станины *J* молота.

Эта машина имеет еще приспособления (рис. 287 и 290), состоящие из двух соединенных шарниром рычагов, образующих клещи. Последние под действием поршня *S* прижимают неподвижную обжимку

¹⁾ Обычно принимают сопротивление срезанию медных заклепок равным, от 15 до 20 кг/мм², для железных заклепок, а для заклепок из мягкой стали это значение берут от 30 до 60 кг/мм².

²⁾ Патент 15 декабря 1876 г.

к заклепке, тогда как другое плечо рычага Y упирается в изделие и несет на себе ударник. Машина подвешивается к подъемному приспособлению, и ей можно придавать всевозможные положения в зависимости от условий работы.

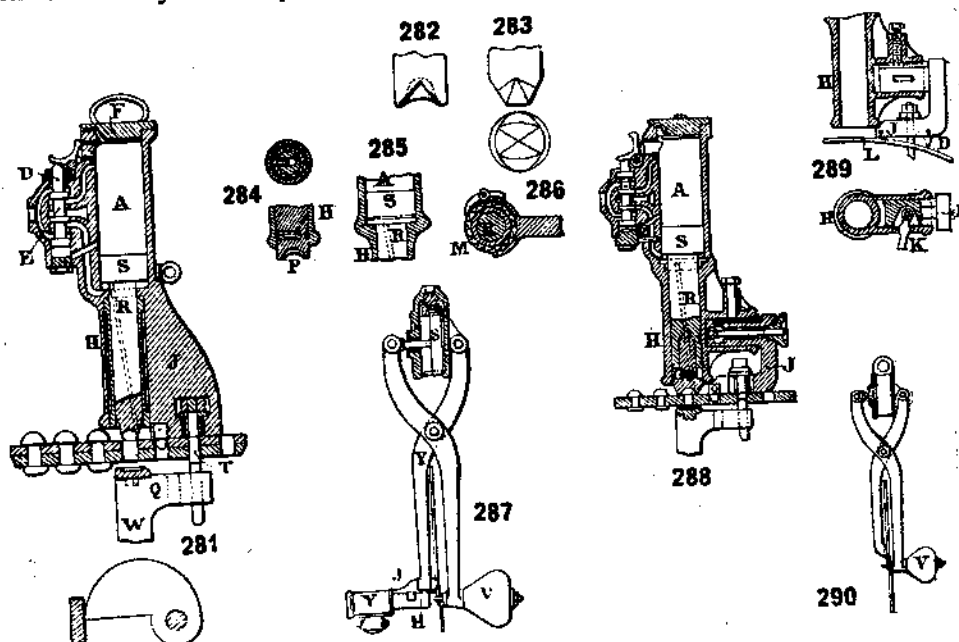


Рис. 281—290.

Приспособление (рис. 290) предназначается для постановки заклепок в середине больших листов.

На судостроительных верфях, где легкость установки клепальных машин имеет очень большое значение, успешно пользуются электри-

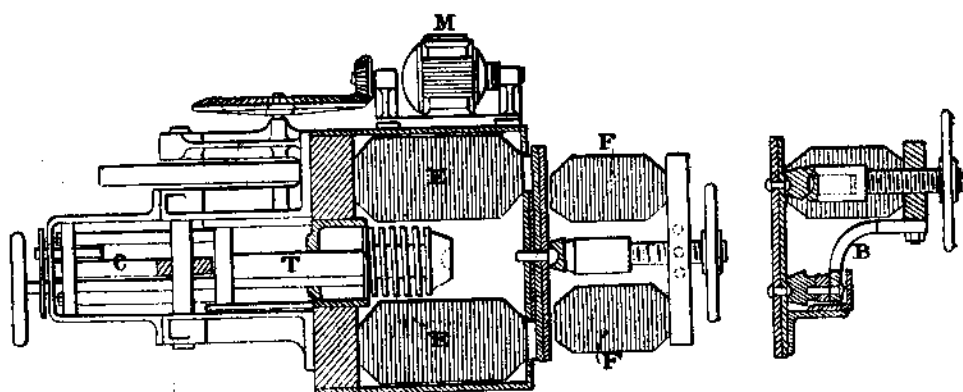


Рис. 291—292.

ческой клепальной машиной Рована (Rowan). Эта переносная клепальная машина (рис. 292) имеет мощные электромагниты E, E для укрепления ее к листу. Электромотор M , посредством зубчатой передачи и кулака C , приводит в действие ударник T с обжимной головкой на конце. Фланец головки упирается на сильную пружину, которая

сжимается, когда кулак отводит ударник. Как только кулак освобождает ударник, пружина выпрямляется и наносит удар.

Неподвижная обжимка, устанавливаемая винтом, притягивается к листу двумя электромагнитами *FF*. Установочный винт и неподвижная обжимка связаны между собой пружиной, компенсирующей зазор, получающийся при сплющивании головки под ударами. Машина на всякий случай снабжается кронштейном *B* (рис. 292), дающим возможность работать вплотную к угольникам.

Механическая чеканка.

Ручная чеканка швов при изготовлении непроницаемых сосудов требует большой затраты времени, и потому вызвала применение специальных машин, из которых одна изображена на рисунке 293—294. Она представляет собой пневматический молот, приводящий в действие чеканку *M*, установленную под углом к поршню. Поршень точно пригнан к головке станины, чтобы образовывать воздушные камеры, служащие буферами или пружинами, поднимающими инструмент, позволяя таким образом приближать его к тому месту, которое требует чеканки.

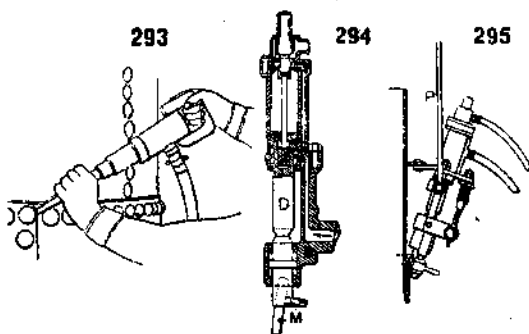


Рис. 293—295.

Ударник *D* быстро бьет по головке ползунка, в котором закреплен инструмент. Распределительный механизм действует совершенно автоматически.

На рис. 295 видно, что инструмент во время работы можно легко направлять вдоль швов котельного цилиндра. Машина подвешивается, а направляющая ее упирается в стенку ¹⁾.

Чеканка успешно заменяется электрической или ацетиленовой сваркой, о которых будет говориться дальше. Эти операции в настоящее время обычно применяются при всякого рода сборочных работах, в особенности в тех случаях, когда требуется полная непроницаемость швов.

Клепальные машины с механическим приводом.

Клепальная машина с механическим приводным механизмом (рис. 296—297) была предложена английским конструктором Де-Бергес (De-Bergues) около 1850 года ²⁾. Неподвижная обжимка *A'* устроена в головке, соединенной с винтом, позволяющим регулировать расстояние между инструментами, в зависимости от толщины заклепочных головок. Обжимка *A* помещается в заменяемой втулке. Подвижная обжимка заключена во втулку *D*. Прямолинейное возвратное движение передается шатуном *F* и эксцентриком *G*, соединенными с валом ма-

¹⁾ Патент Поллока (Pollock) 18 января 1881 г.

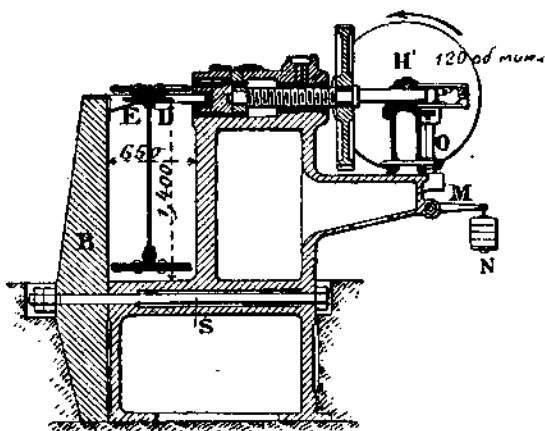
²⁾ Изобретение первых машин этой категории приписывают Фейрберну. Ими пользовались при постройке трубчатого моста в Коннее и Британского моста (1846—49 гг.). Для Британского моста потребовалось по меньшей мере два миллиона заклепок весом около 900 тонн.

Таким образом, ползун и обжимка могут двигаться только прямолинейно и не вращаются вместе с винтом.

Вследствие большого диаметра ползуна, он хорошо направляется в головке станины. Винт заканчивается гладкой шейкой, проходящей через направляющую стойку.

Переключение дисков H и H' , вращающих поочередно диск G , производится рычагом и муфтами.

Постановка заклепки, т.е. образование ее головки, вызывается перестановкой рычага, ход которого регулирует в некоторых пределах силу ударов. Работа и усилие зависят от живой силы тяжелого диска G . Усилие в этой модели машины может достигать 120 и более тонн.



Паровые клепальные машины.

Первую паровую клепальную машину построил в 1884 г. Каве (Cavé) для Леметра (Lemaître). Она изображена на рис. 301 и 302.

В этой машине конструктор достиг двоякого действия, а именно: предварительного сжатия листов и затем образования головки заклепки.

В передней части устроено нечто в роде наковальни, на которой помещается изделие, например, звено барабана котла. Рог наковальни несет на себе неподвижную обжимку.

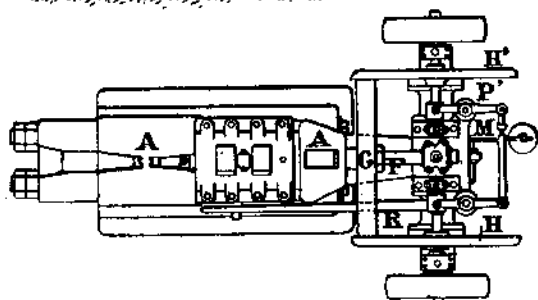


Рис. 299—300.

В голове станины движется гильза F , приводимая в движение шатуном и рычагом, связанным с одним из паровых поршней.

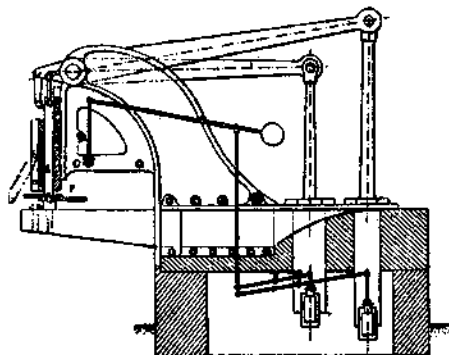


Рис. 301.

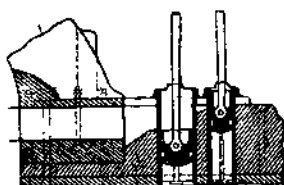


Рис. 302.

Обжимка B движется в гильзе F и точно так же приводится в действие шатуном и рычагом, соединенным шарниром со скалкой второго поршня.

Рычаг управления связан с парораспределительными золотниками.

Поставив в отверстие заклепку, рабочий спокойно опускает гильзу *F*, сжимающую листы, затем довольно быстрым движением приводит в действие золотник второго парового цилиндра, вызывая таким образом быстрое движение обжимки, наносящей сильный удар.

Машины Леметра встречаются еще на некоторых заводах. Клепка — быстрая и хорошего качества.

Клепальные машины Кука.

В Англии около 1850 года были довольно распространены паровые клепальные машины системы Кука (Cook) (рис. 303).

Стойка *B* устроена таким образом, что позволяет производить клепку звеньев котельных барабанов. Эта стойка укреплена на фундаментной плите машины. Головка заклепки образуется без предварительного сжатия листов.

Ползун обжимки *C* приводится в движение эксцентриком *E*, рычаг которого *L* соединен с шатуном *A* и далее со стаканым поршнем, на который действует пар.

Рабочий управляет машиной рычагом *D*. Кроме того, для автоматического регулирования хода ползуна *C*, рычаги с одной стороны соединены с эксцентриком, а с другой стороны с валом рычага *D*.

Таким образом, ограничивается ход поршня, а также впуск и выпуск пара.

Эта машина обычно устанавливается рядом с другими машинами. Так, например, по обе стороны клепальной машины устанавливают дыропробивный пресс и ножницы.

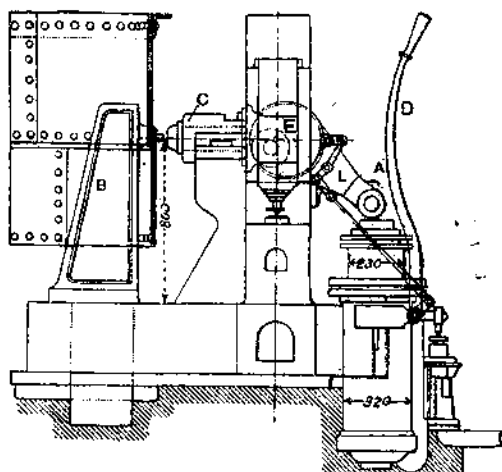


Рис. 303.

Клепальная машина Гуэна.

Клепальная машина Гуэна (Gouin) (рис. 304 — 308) также горизонтального типа. Она прекрасно продумана и выполняет две операции, а именно: сперва сжимает листы, а затем производит клепку.

Головка *T*, служащая для сжимания листов, установлена непосредственно на гильзе парового поршня небольшого диаметра (рис. 306).

Обжимка установлена на скалке второго поршня большого диаметра (960 мм) проходящей через гильзу (скалку) малого поршня.

Пар действует сперва на малый поршень, сжимая листы, затем свежий пар впускается в главный цилиндр, поршень которого несет обжимку и образует головку.

Для отвода поршня обратно пользуются тем же паром, уже отработавшим при первой операции.

Поршни имеют на задних сторонах короткие направляющие скалки, вследствие чего передние их поверхности больше задних. Таким образом, сообщая оба отделения каждого цилиндра, переднее и заднее, пар посылает каждый из поршней назад.

Очень жесткая станина этой машины склепана из железных листов.

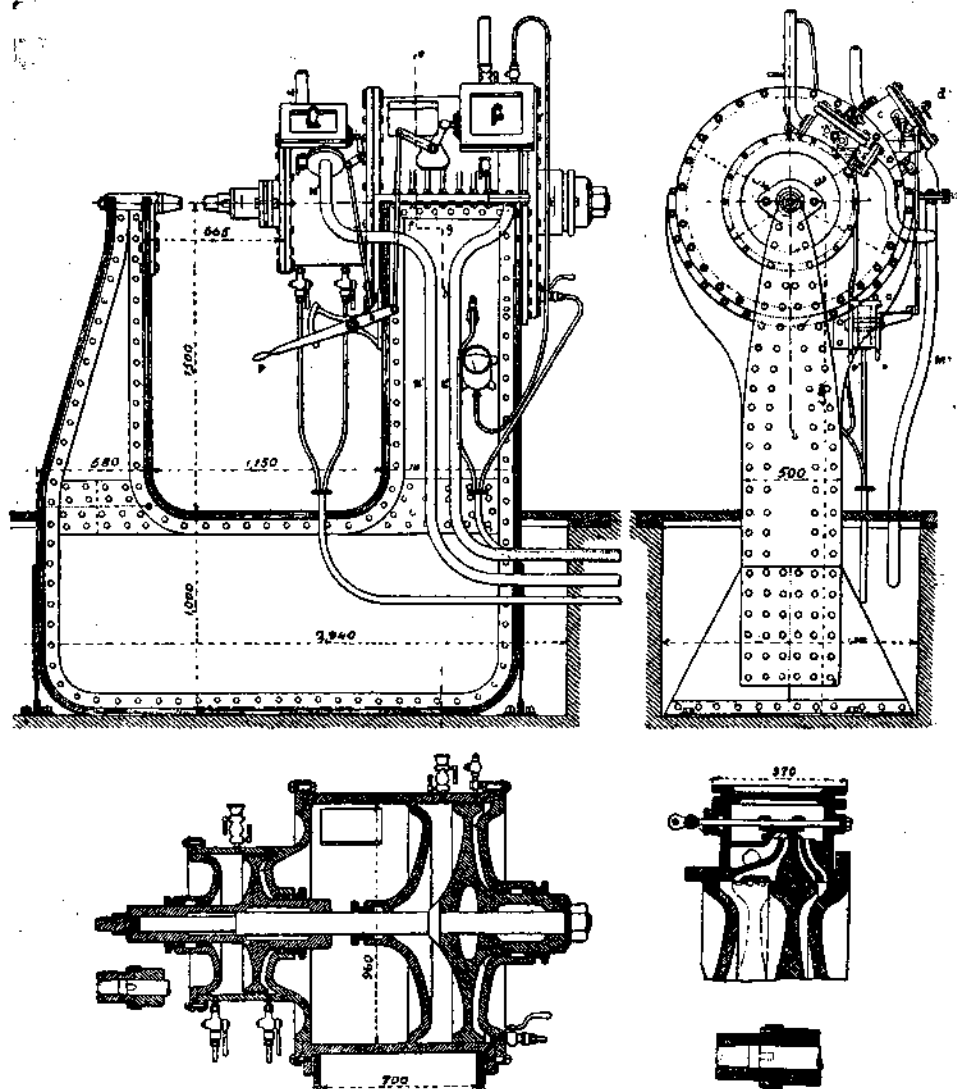


Рис. 304—308.

Гидравлические клепальные машины.

Первым применил для клепки гидравлическое давление Тведделль (Tweddell) в Англии в 1871 году.

Гидравлические клепальные машины отличаются от паровых машин непосредственного действия только деталями распределительного механизма, сообщающегося с гидравлическим аккумулятором.

Высокое гидравлическое давление от 75 до 150 кг/см^2 , а иногда даже 300 кг/см^2 в переносных машинах на судостроительных заводах позволило уменьшить диаметр цилиндра, соединенного с обжимкой. Конструкция этого пресса, применявшаяся в первых машинах, изображена на рис. 309—312.

Вода действует на всю кольцевую торцевую поверхность поршня F . Жидкость поступает через отверстие H , (рис. 312) сообщающееся

с трубопроводом *I*, когда рычаг *L* открывает клапан *K*. Клапан *K'* регулирует выпуск воды через трубопровод *I'*. Он открывается рычагом *L'* одновременно с закрытием клапана *K*. Оба клапана закрываются пружинами, упирающимися в гайки *R*. Для отвода поршня *F* назад по окончании операции открывают клапан *K''*. Вода, находящаяся постоянно под давлением, поступает в центре поршня *F* в камеру *M* через канал, устроенный в неподвижной скалке *N*. К последней укреплен поршень *P*. Поршень *F* при этом отходит и выгоняет воду из камеры *G*.

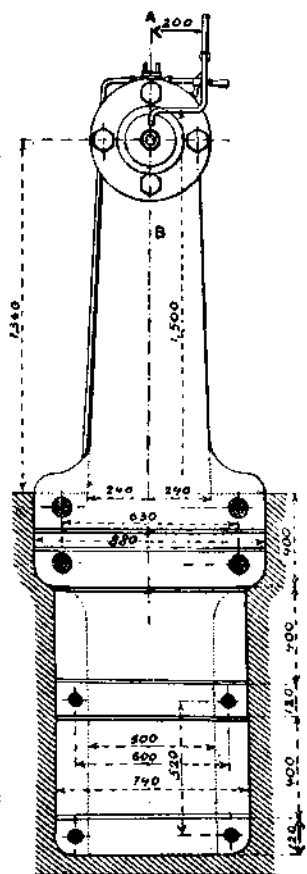


Рис. 309.

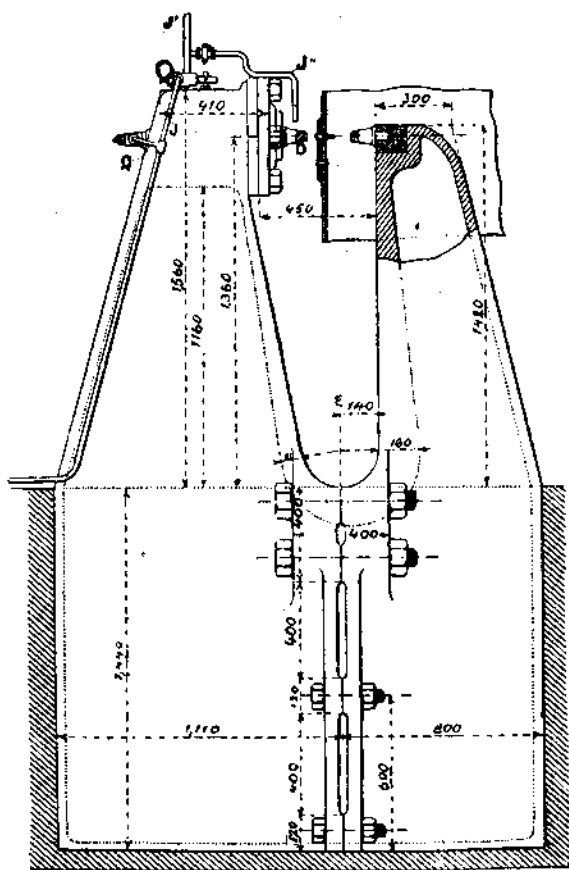


Рис. 310.

Внутри поршня *F* всегда существует гидравлическое давление, не требующее, таким образом, никакого управления. Вода поступает из трубопровода *J* (рис. 310) по трубке *Q*, укрепленной к задней части станины.

Обжимка *D* охлаждается водой, притекающей из трубопровода *J''*.

Машина этой модели не производит предварительного сжатия листов, в чем нет надобности при обыкновенных работах, если только давление на заклепку не слишком велико.

Для установки одной заклепки диаметром в 20 миллиметров требуется один литр воды под давлением в 150 киллограммов на квадратный сантиметр.

Только около 1880 г. Тведделль разработал конструкцию, изображенную на рис. 313¹⁾, состоящую из соединенного с обжимкой ныряла *A* и втулочного ныряла *B* с головкой, служащей для зажимания листов.

Со стороны неподвижной обжимки Тведделль иногда помещает зажимную головку, приводимую в действие давлением воды, притекающей в камеру *B'*.

Конструкция нырял (рис. 313) позволяет, при прекращении давления на ныряло *A*, переносить давление на ныряло *B*, ударяющее по заклепке. В этом случае вода попадает в полость между нырялами, причем ныряло *A*, упирающееся в заднюю стенку цилиндра, служит опорной поверхностью.

Гидравлические клепальные машины весьма широко распространены. Однако, многие конструкторы до сих пор предпочитают паровые клепальные машины, которые при некоторых работах дают большую производительность.

Иногда, как на рис. 314, головка клепальной машины делается подвижной, так что ее можно поворачивать по мере надобности, что в некоторых случаях облегчает работу.

Некоторые машины устраиваются таким образом, что работают двумя ходами поршня. Первый ход медленно образует головку заклепки и сжимает листы, а второй ход дает очень резкий удар, после

чего обжимка задерживается на заклепке, пока та не почернеет.

Качество работы, выполненной на такой машине, считается очень высоким.

Этот способ клепки можно применять для установки крупных заклепок слабой машиной, неспособной развивать достаточно длящегося усилия.

Если гидравлическое давление доставляется аккумулятором, то конечное давление достигается таранным ударом, который дает тот же самый эффект.

Для большей непроницаемости швов, клепальные машины Генри Берри (Henry Berry) — новая модель строится двойного и тройного

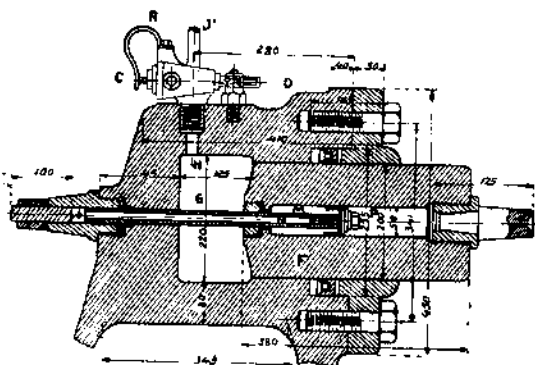


Рис. 311—312.

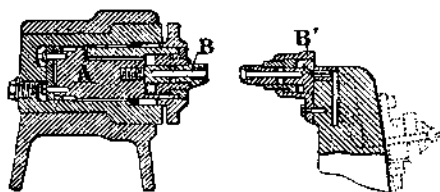
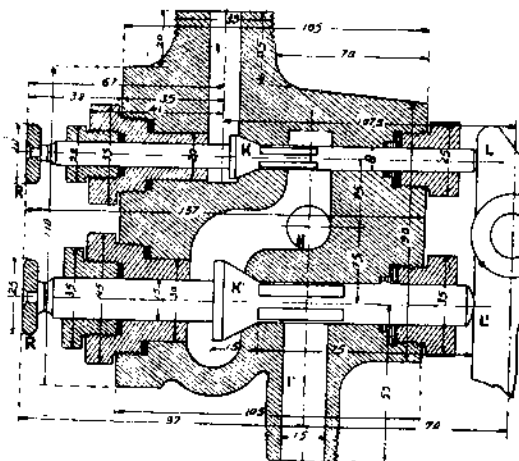


Рис. 313.

¹⁾ Патент 10 ноября 1880 г.

действия. Для этого на них ставятся гидравлические цилиндры с двойным золотником, почему они сперва сжимают листы и только после этого дают заклепку.

Операция заключается в том, что сперва муфта сжимает листы под давлением в 40 тонн, после чего обжимка расплющивает головку заклепки под давлением, достигающим 80 тонн.

Главный цилиндр в этом случае рассчитывается для работы при давлении 120 тонн, понижающемся до 80 тонн противодавлением первого пресса. При прекращении противодействия на обжимку действует давление в 120 тонн, чем заканчивается операция.

Таким образом, видно, что давление на квадратный миллиметр сечения заклепки может достигать от 100 до 150 кг, в зависимости от ее диаметра, и даже больше, если принимать во внимание таранный удар.

Этот избыток давления всегда благоприятствует хорошему выполнению клепки, создавая прекрасное соприкосновение и такое сопротивление скольжению, что при изготовлении сосудов устраняется возможность утечек. Однако, им не следует злоупотреблять, чтобы не получилось штамповального эффекта в виде подъема заусениц или углубления обжимки в металл листа по окружности заклепочных головок.

В числе главных работ, выполняемых гидравлическими клепальными машинами, можно назвать склепку листов крупных судовых котлов, требующих стальных заклепок до 75 мм диаметром. Чаще всего такие заклепки делаются из никелевой стали, отличающейся одновременно большим сопротивлением и очень большим удлинением.

Характеристика этой стали: $C - 0,15\%$, $Ni - 3 - 4\%$, $R_p - 55 \text{ кг/мм}^2$, $R_t - 70 \text{ кг/мм}^2$, $A - 30\%$.

Заметим, что пользуются также большими заклепками эллиптического сечения. Подобные заклепки ставят клепальной машиной в 200 тонн, развивающей среднее давление около 50 кг на квадратный миллиметр сечения заклепки. Скорость постановки заклепок около 8 штук в минуту, в зависимости от их сечений. В начале образования головки пользуются половинным давлением, после чего работа заканчивается под полным давлением.

Вода доставляется двумя горизонтальными насосами, двойного действия, развивающими давление в 105 кг/см^2 . Аккумулятор достигает 300 тонн. Грузы аккумулятора весят 100 тонн.

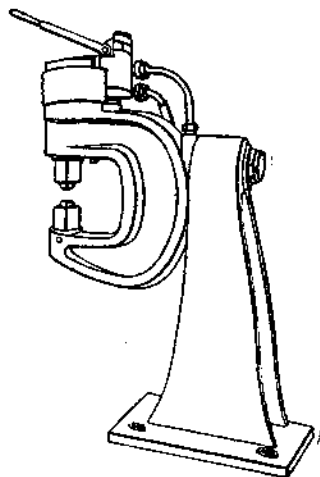


Рис. 314.

Гидравлические клепальные машины непосредственного действия.

Чтобы избавиться от аккумулятора и трубопровода и облегчить установку гидравлической клепальной машины, Деладоэ (Delaloe)¹⁾ установил гидравлический насос непосредственно на самой машине, приводя его в действие винтовым механизмом, шестернями и шкивами,

¹⁾ Патент Деладоэ 26 февраля 1883 г. Эта машина выделяется заводом Platt.

Опора A' со сменяемой обжимкой прочно укреплена к ответвлению станины B . Форма последней очень удобна для клепки звеньев котельных барабанов или для балок. Станина имеет большой вырез.

Обжимка A монтирована на головке C' ныряла C (рис. 320), цилиндр которого состоит из двух частей DD' и укреплен к станине B таким образом, чтобы в случае надобности его можно было легко заменить.

Задняя часть ныряла C принимает давление жидкости, передающей усилие ныряла I компрессора (рис. 315). Жидкость, — глицерин с водой, вода или раствор хлористой магнелии (во избежание замерзания), — помещается в резервуаре F (рис. 319) и в корпусе насоса H (рис. 315), сообщающихся между собою трубой G (рис. 319). Эта жидкость работает непрерывно и дополняется только в случае утечки.

Операция производится следующим образом.

Подвижная обжимка быстро приводится в соприкосновение с заклепкой поворотом маховика E (рис. 315), вал которого имеет шестерню O , сцепляющуюся с зубчатой рейкой (рис. 320), прикрепленной к поршню C .

Жидкость из резервуара F может по желанию попадать в цилиндр D через трубопровод G_1 ; клапан U поднимается пальцем T , установленным на валу рукоятки T (рис. 315). Палец T на рисунке 320 изображен в положении, при котором полость G_2 сообщается с каналом G_1 , тогда как полость G_2 постоянно сообщается с резервуаром F каналом G_3 (рис. 319 и 320).

Когда обжимка A коснется заклепки, приводят в действие компрессор I , винт которого J (рис. 316) связан зубчатыми передачами KK' , LL' с приводным валом M , имеющим два комплекта двойных шкивов. Одна пара шкивов приводится прямым, а вторая перекрещенным ремнем, чтобы можно было по желанию и автоматически вызывать вращение винта J в обоих направлениях, сжимая таким образом жидкость в полости H или вызывая ее всасывание для обратного хода ныряла с заклепочным обжимком, при окончании склепки. Обратный ход достигается также отчасти маховиком E .

Сжатая жидкость поступает через трубу G (рис. 315) в проход G_1 (рис. 320), после чего клапан U опускается.

Сжатие производит быстрое и постепенное образование головки заклепки. Усилие контролируется по манометру.

Предохранительный клапан V (рис. 320) устанавливается на заданное предельное давление и вместе с тем облегчает регулирование привода, поднимающего ныряло. Эти прекрасно разработанные машины дают во многих случаях отличные результаты. Одним из главных достоинств является их экономичность, вследствие подвода обжимки вручную, сравнительно с клепальными машинами, работающими от аккумуляторов и расходующими большой объем находящейся под давлением воды¹⁾.

Переносные гидравлические клепальные машины.

Переносные гидравлические клепальные машины различных типов изображены на рис. 321, 322 и 323.

¹⁾ Напомним, что Л. Гуссон (Husson) в 1887 г. применил гидравлическую передачу в клепальной машине, винт ныряла которой приводился в действие двумя фрикционными дисками (Bulletin Technologique, 1887 г., стр. 218).

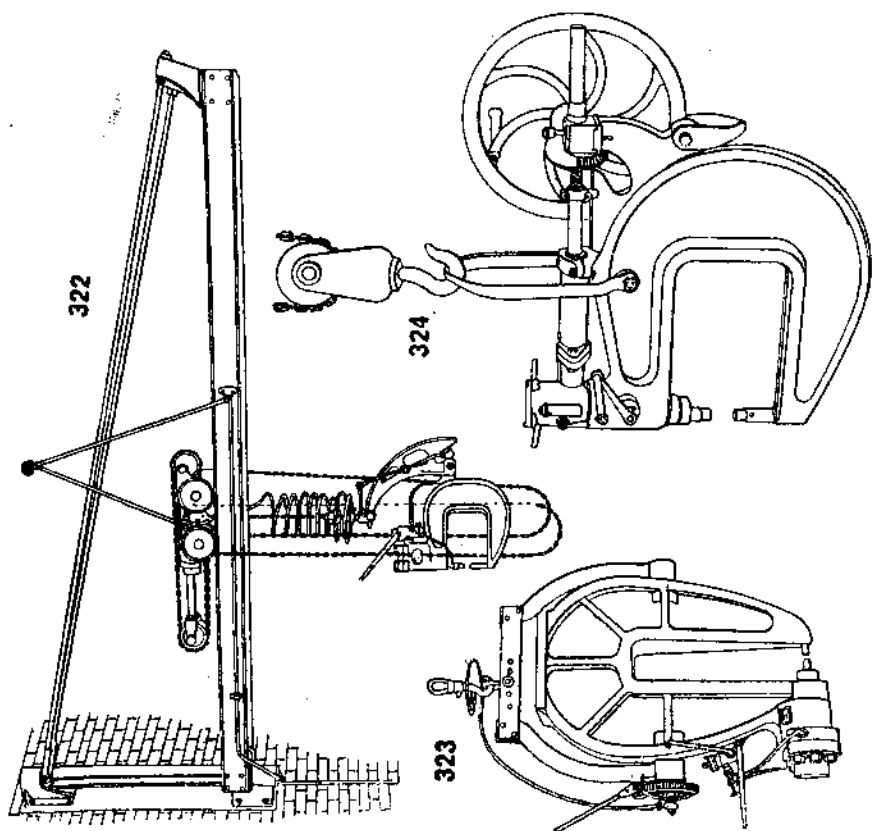


Рис. 322—324.

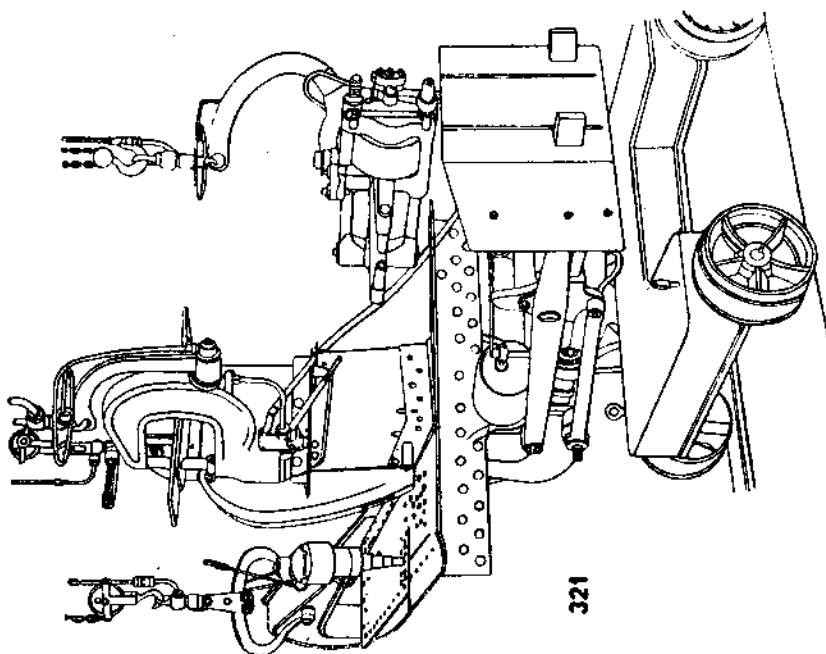


Рис. 321.

Эти машины очень полезны при сборках различных частей и листов в сборочных мастерских или на месте производства работы.

Им можно придавать любое положение, которое только может встретиться при клепальных работах. Обычно машины подвешиваются к подъемнику, и так как они хорошо уравновешены, то обращение с ними не представляет затруднений.

Сжатый воздух или вода получаются из аккумулятора и поступают по трубопроводу, части которого около машины сделаны гибкими, чтобы позволять передвижение последней.

При переносной машине Деладоэ устраняется необходимость установки аккумуляторов и трубопроводов. Компрессор приводится в действие или вручную или электромотором, как то можно видеть на рис. 325. Эта клепальная машина дала весьма удовлетворительные результаты в различных новейших применениях при заклепках в 25 мм диаметром, при чем толщина склепываемых швов может доходить, примерно, до 100 мм.

При монтажных работах стоимость механической клепки обычно значительно выше стоимости ручной. При мостовых работах такая клепка обходится, примерно, 25 единиц ценности за заклепку, тогда как стоимость ручной работы не превышает в среднем 12 единиц.

Переносная клепальная машина Селлеса (модель 1891 г.) — рисунки 326 и 327 изображают конструкцию, принятую Селлерсом для облегчения склепки труб, как, например, труб Галлоуэя.

Обжимы А и В монтированы на двух дисках С и D, соединенных с рычагами Е и F. Эти диски поворачиваются, по желанию, зубчатыми передачами, так что обжимы всегда находятся на одной оси и их можно последовательно устанавливать против заклепок, вставленных в различные отверстия.

Эти передачи приводятся в действие рукояткой М, которой, смотря по удобству, можно поворачивать вал G или вал Н.

Гидравлическое давление действует на поршень Р, соединенный с нижним рычагом F, который сближается с верхним рычагом. Эти два рычага могут поворачиваться вокруг точки I на длинном шарнире, не допускающем никакого бокового смещения. Последнее может произойти от давления клепки, действующего вне средней плоскости рычагов. Управление распределением воды производится рычагом. Точка подвеса машины находится в S.

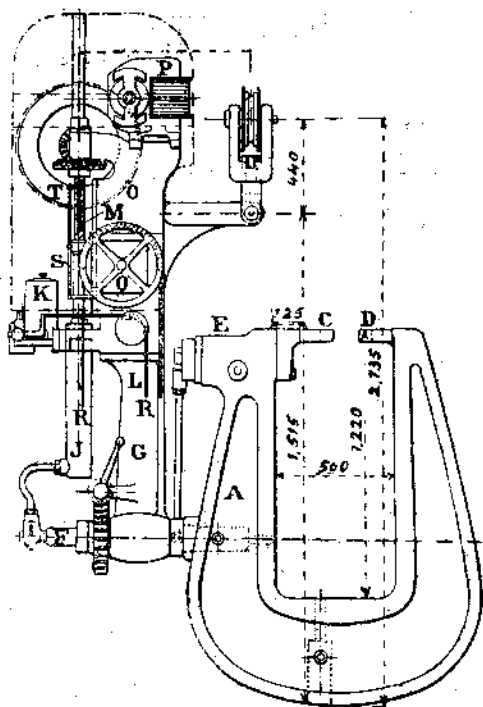


Рис. 325.

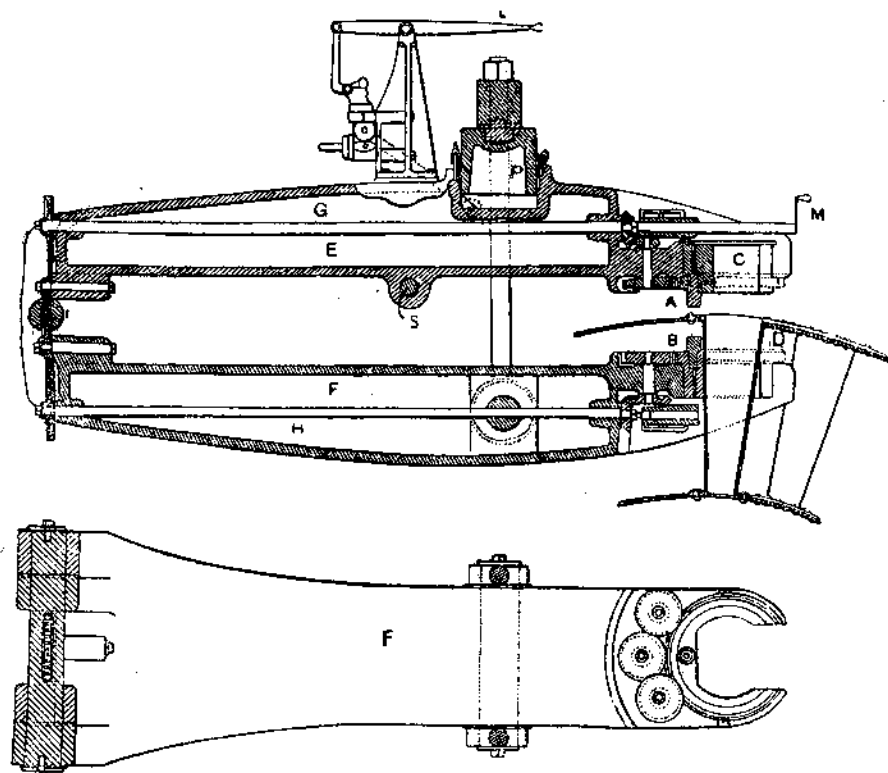


Рис. 326—327.

Электрический нагрев заклепок.

Электрический нагрев заклепок ¹⁾ был предложен Томсоном ²⁾. Он состоит в том, что через поставленную на место заклепку пропускают электрический ток достаточной силы для доведения ее до необходимой температуры. Головку образуют затем обычным способом (рис. 328—330). Стержень заклепки может не иметь начальной головки (рис. 331 и 232). Можно также пропускать электрический ток через соединяемые части, вызывая таким образом одновременно более или менее сильную сварку соприкасающихся частей (рис. 333 и 335).

Рисунок 328 изображает конструкцию клепальной машины с электрическим нагревом. Электрический ток проходит через части *СС'*, изолированные друг от друга во избежание короткого замыкания. Части *СС'* достаточно массивны, чтобы не нагреваться слишком сильно. Давление на заклепку производится обжимом *В*, приводимым в действие винтом *У*. Рисунки 336 и 337 изображают приспособление для сжимания листов колодками *КК'*, которые изолируют от листов, покрывая их опорные поверхности слюдой или другой изоляцией.

Вложенную в отверстие заклепку можно нагреть электрическим током в несколько секунд.

¹⁾ Так как в настоящей книге вопросы нагрева не рассматриваются, то этого процесса не следовало бы приводить. Однако, вследствие его новизны, и потому что он непосредственно связан с выполнением клепальной машины, мы сочли лучшим упомянуть о нем.

²⁾ Патент 8 Января 1889 года.

Процесс клепки с электрическим нагревом не только позволяет производить склепку, но дает также возможность проделывать и заклепочные отверстия в листах¹⁾.

Если, например, требуется поставить заклепку (рис. 338), присоединяют отрицательный полюс источника электрической энергии к листам *A* и *B*. Положительный полюс соединяют с угольным

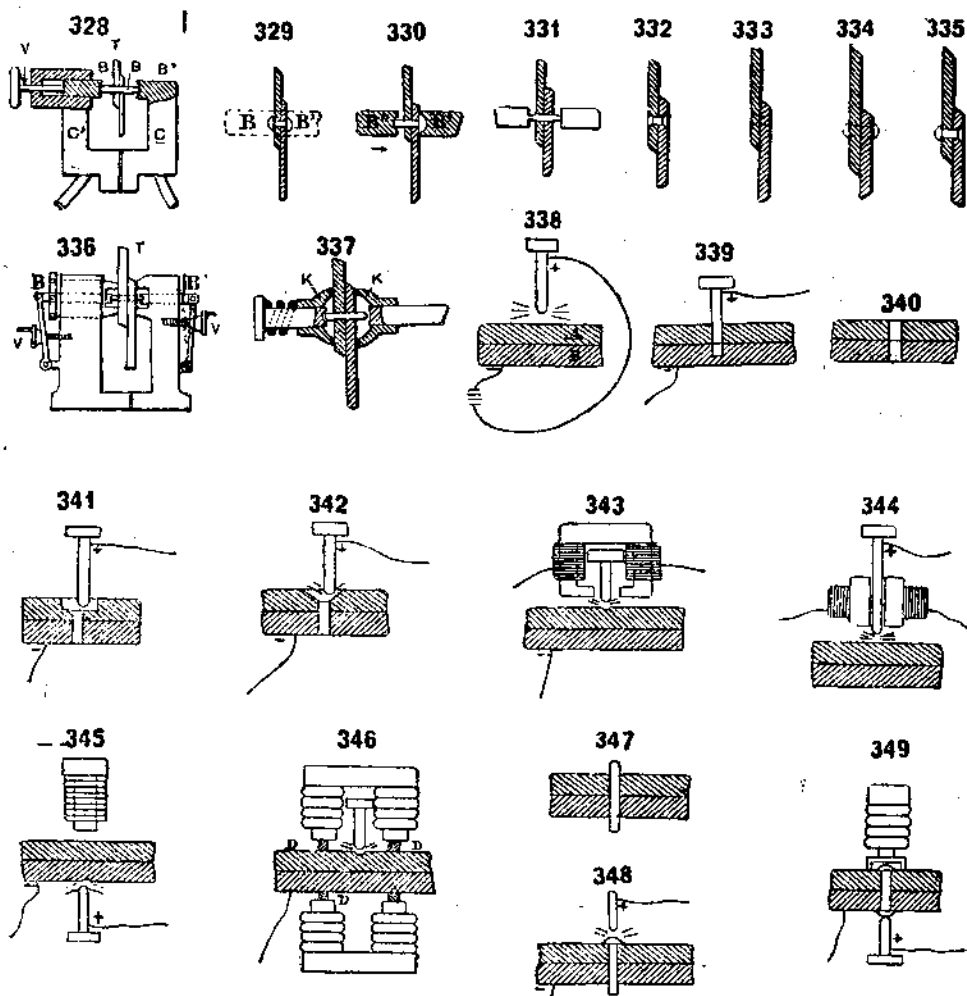


Рис. 328—349.

электродом гибким проводом. Когда касаются листа положительным электродом, цепь замыкается. Если после этого несколько отвести угольный электрод, образуется вольтова дуга, способная при достаточном токе расплавить соседний с углем металл. Последний затем продавливают, образуя отверстие (рис. 339).

Во время операции ток регулируют таким образом, чтобы получить в результате отверстие с достаточно гладкими стенками и правильным диаметром (рис. 340).

¹⁾ Патент Société pour le travail électrique des métaux. 8 Февраля 1887 г.

Если требуется отверстие с различными диаметрами для потайных заклепок, то их проделывают, как показано на рис. 341—342.

Во всех случаях можно сделать вольтову дугу неподвижной и подавать склепываемые листы электромагнитом.

Направляющий электромагнит может быть любой формы: подковообразной, как на рис. 343, и действовать на уголь своими различными полюсами, или полый формы (рис. 344) с проходящим через него насквозь углем, или же иметь цилиндрический сердечник (рис. 345). В этом случае его помещают с противоположной стороны склепываемых листов.

Электромагниты возбуждают независимо или включают последовательно в цепь клепальной машины, или же вводят параллельно в какую-либо другую цепь.

Если склепываемые листы состоят из магнитного металла, то между ним и электромагнитом кладут немагнитные прокладки. В этом случае электромагнит служит для листов тисками и сжимает их с очень большой силой. На рис. 346 изображен электромагнит, выполняющий одновременно две функции, а именно: направляющий вольтову дугу и сжимающий листы при склепке листов из магнитного материала.

После того как сделано отверстие, вставляют холодную заклепку (рис. 347), выступающую слегка по обе стороны листов. Пускают электрический ток, чтобы вызвать нагрев металла, и образуют первую головку заклепки (рис. 348).

Таким же образом образуют и вторую головку с другой стороны.

Когда листы и самая заклепка сделаны из магнитного металла, операция значительно облегчается (рис. 349) посредством направляющего электромагнита и магнитных тисков.

Можно заметить, что при этом процессе соединяемые листы слабо сжимаются между собой, и что металл заклепки во время плавления теряет свои механические свойства, если только работу не закончить клепкой давлением или молотком. Таким образом, электрическая клепка в сущности сводится только к электрическому нагреву, выгоды которого можно выяснить только опытным путем в рабочих условиях. Также в некоторых отдельных случаях может быть выгодна и электрическая пробивка отверстий.

Этому процессу ставят еще в упрек обуглероживание соседнего металла при высоких температурах, которым он подвергается. Металл при этом становится хрупким и при энергичной загонке заклепки может дать трещины.

VIII. Сварка.

Сварка заключается в соединении нацело отдельных частей какого-либо изделия, изготовляемого из нескольких частей или разломавшихся на несколько кусков.

Этот процесс хотя и не представляет операций, связанных с изменением формы или размеров изделия, тем не менее весьма важен в кузнечных работах. При непосредственной сварке процесс требует давлений или ударов. При косвенных способах сварки или пайки требуется введение между соединяемыми частями расплавленного вспомогательного металла, служащего связью.

Вследствие этого мы рассмотрим оба эти процесса, которые распадаются на несколько разновидностей.

Сварка давлением. Выше уже говорилось, что достаточно сильное давление способно вызывать холодную сварку частиц различных метал-

лов. Серьезным недостатком такого процесса является затруднительность развития потребных для такой операции давлений. Затруднения эти исчезают при высоких температурах.

Наиболее подходящая температура для сварки железа колеблется между 1300° и 1700°, соответствующей нагреву до белого каления. Для стали температура колеблется от 1200° до 1300° в зависимости от характера металла.

Другие металлы не допускают непосредственной сварки, кроме исключительных случаев.

Сварка простым длительным давлением изделий, которых нельзя подвергать непосредственным ударам под молотом, производится или на прокатном стане, или в матрицах. В большинстве случаев производить сварку предпочитают под молотом.

Недостаток, который приписывают сварке под прессом, заключается в том, что при этом способе не удаляются шлаки и не сбивается окалина, тогда как удары молота делают и то, и другое. Кроме того, большинство изделий, которые по своей форме невозможно обжать со всех сторон, очень легко сваривать под молотом.

Часто давление и удар комбинируют вместе и в результате сварка производится в наиболее благоприятных условиях.

Для облегчения сварки железа и стали (железо с железом или железо со сталью) пользуются специальными флюсами в виде порошков, которые получают из расплавленных смесей. Так, например, берут:

Буры	500 г
Нашатыря	70 "
Цианистого кали	70 "
Железных (не ржавых) опилок	35 "

Рекомендуют также следующий состав:

Смола	30 г
Квасцов	30 "
Поваренной соли	10 "
Нашатыря	150 "
Буры	300 "
Белого купороса	20 "

Опыт показал, что глина дает лучшие результаты, нежели песок, при сварке стали, а при сварке железа, наоборот.

Флюс помещают на металл во время нагрева. Он препятствует окислению, образуя шлак, способствующий сварке частиц металла и позволяющий производить работу при сравнительно низкой температуре. Если температура высока, то флюс предотвращает пережоги металла или перекристаллизацию его, если это сталь.

Флюсы дают возможность легко сваривать сталь, применяемую для напильников с такою же сталью, так как они восстанавливают структуру, измененную перегревом металла. Флюсы дают возможность сваривать железо с чугуном; при сильном нагреве этих металлов, чугун стекает на железо и связывается с ним.

Для быстрорежущей стали предпочитают флюс, состоящий из:

Железных опилок	40 г
Роговых стружек	14 "
Графита	24 "
Молотой плавящей буры	22 "

Вместо флюсов в порошке, иногда их делают в виде сварных плиток. Порошок впрессовывают в очень частые железные проволочные сетки.

Этот способ в последние годы особенно пропагандируется Ляфитом (Lafitte), специализировавшимся в производстве таких плиток, дающих прекрасные результаты. Эти плитки во многих случаях сварки очень полезны,

В зависимости от взаимного положения соединяемых частей, сварка производится различными способами, отличающимися друг от друга некоторыми особенностями.

Сварка в пакеты. Сварка в пакеты применяется для соединения железных или стальных обрезков, как, например, лома болтов, заклепок, шпилек, стружек и т. п., которые связывают проволокой в пакеты размерами в среднем около $200 \times 300 \times 400$ мм (рис. 350).

Пакет нагревают в печи и проковывают под молотом по всем его поверхностям, затем после повторного нагревания для лучшей проварки всех частей его подвергают вытяжке.

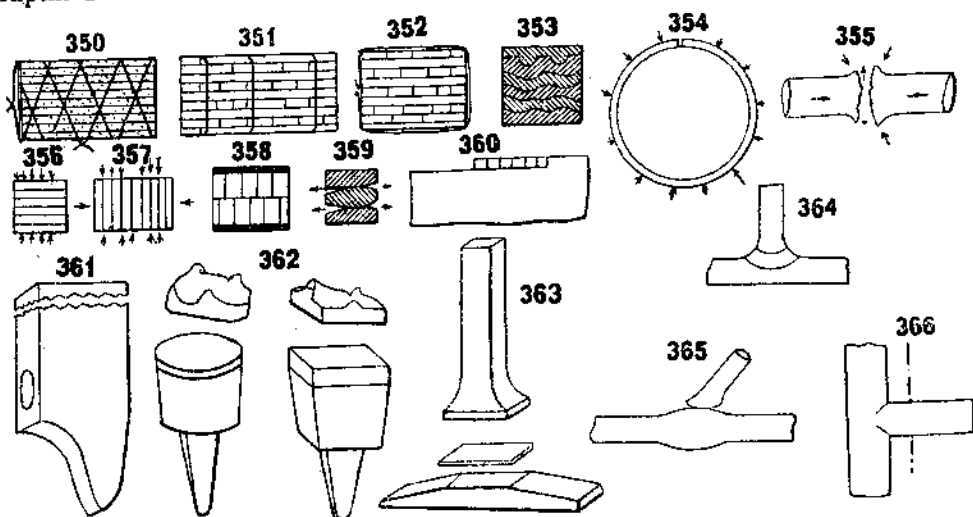


Рис. 350—366.

Вместо молота пользуются также сварочным прокатным станом, который одновременно вытягивает пакет и сваривает его. Результат получается хуже, нежели под молотом.

Сварка пластом и на ребро. Пакет иногда составляют из разрезанных на куски брусков, которые укладывают крест-на-крест под прямым углом (рис. 351 и 352). В этом случае сварка производится в двух направлениях перпендикулярно плоскостям брусков и по их боковым поверхностям.

Иногда отдельные бруски собирают соответственно профилям и вкладывают друг в друга для лучшей связи (рис. 353).

Сварка пластом. Пакет иногда собирают, попросту накладывая бруски друг на друга. В этом случае сварка называется сваркой пластом (рис. 356), так как давление прилагается перпендикулярно к слоям.

Сварка на ребро. Если главное давление прилагается параллельно слоям, сварка называется сваркой на ребро (рис. 357). Эта сварка лучше предыдущей, если она производится в ручьях прокатного стана и давление действует на все поверхности пакета. Так как валки стана увлекают металл в направлении длины полос, то последние при сварке пластом скользят и легко отрываются друг от друга при первом пропуске.

Сварка с крышкой. Комбинируя оба способа, достигается лучшее решение вопроса (рис. 358), в особенности, если верхняя и нижняя части пакета состоят из одного куска, перекрывающего все стыки отдельных брусков.

Сварка пластом редко применяется для соединения кованых изделий, за исключением немногих железных и стальных инструментов, изготавливаемых из листового материала. Для лучшего удаления шлаков и окалины свариваемым заготовкам придают закругленную форму (рис. 359). Таким образом устраняются дефекты сварки и внутренние свищи. Эта предосторожность должна соблюдаться при всех случаях сварки, лишь бы это было возможно.

Поковки обычно свариваются только небольшими частями их поверхностей, для чего их соединяют или непосредственно или вспомогательными частями.

Сварка впритык. Сварка впритык или приварка (рис. 361 и 362) применяется для присоединения небольших стальных частей к железным при *насталивании* рабочих частей инструментов, как, например, молотков и наковален.

Стальную часть зарубцовывают и насекают, чтобы она лучше держалась в момент операции. Сперва нагревают железо; после чего ставят навариваемую стальную часть, затем нагревают обе части до сварочной температуры, что соответствует белому калению железа; при этом условии сталь будет достаточно нагрета, но не пережжена. Наконец, быстро проковывают наварку с торца под молотом. Ковать пластом и на ребро можно только в том случае, когда обе части прочно сварятся. Такого рода сварка очень трудна, вследствие разнородности двух металлов. Рекомендуются пользоваться сварными флюсами или плитками (рис. 363), которые помещают между свариваемыми изделиями, нагретыми до сварочной температуры, после чего на них действуют лучше давлением, чем ударами.

Наварка больших поверхностей не дает удовлетворительных результатов, а потому приходится наваривать поверхность отдельными брусками (рис. 360). Последний способ обладает тем преимуществом, что избегается расслаивание соседних частей при повторных ударах. Так наваривают, например, лицевые поверхности наковален, для чего часто пользуются сталью, полученной из сваренного перед тем пакета.

Сварка впритык применяется также к заварным железным трубам (рис. 354) обычного качества, свариваемым на прокатном стане по образующей. Если сваривают впритык крупные трубы, то концы их высаживают, придают им форму раструба (рис. 355), поверхности их насекают зубилом и сваривают попеременно, то ударами по противоположным торцам труб, то поперечными ударами по раструбам. Не следует слишком сильно закруглять кромок труб, чтобы не уменьшать поверхность контакта соприкасающихся частей.

При такого рода сварке лучший результат получается на сварочной машине (рис. 367), представляющей разновидность высадочной машины, развивающей продольные давления; в то же время стык проковывают поперечными ударами молотка.

Сварка впритык применяется также, когда требуется соединить друг с другом две части под углом (рис. 364 и 365). В этом случае необходима высадка металла в местах сварки. Этот избыток металла необходим для компенсации усадки при нагреве и ковке под молотом, уменьшающей поперечные размеры изделия.

Иногда высадке одной из частей придают форму чашки (рис. 364). В этом случае можно опасаться попадания в шов окалины. При при-

менении пластинок Ляфитта сварка впритык не оставляет желать ничего лучшего.

Так, например, приводят случай приварки к валу рычага (рис. 366), в следующих условиях. Вал после слесарной обработки, чтобы не повредить его, нагревали не свыше как до светло-красного каления. Рычаг нагревали только слегка.

Сварка была произведена при одном нагреве и не оставила никакого следа в месте стыка.

При испытании растяжением разрыв произошел по линии, обозначенной пунктиром, на расстоянии 22 миллиметров от вала, т.-е. вне сварки.

Таким образом, видно, что в некоторых случаях такой процесс дает очень хорошие результаты.

Сварка впритык иногда применяется для присоединения доньев цилиндрических сосудов к их боковым стенкам.

Начинают с того, что уширяют диаметр цилиндра С (рис. 368) так, чтобы дно точно входило в него под некоторым давлением.

Сварку производят постепенно, при чем надо опасаться слишком деформировать дно и стенки и восстанавливать все время первоначальную цилиндрическую форму, доставляя тем металл для сварки и образуя значительный валик (рис. 369), увеличивающий прочность шва, но ослабляющий сечение сосудов, подвергающихся внутренним давлениям.

В действительности на внутреннем валике всегда остается несваренный острый угол, с которого начинается разрыв. Кроме того (рис. 372), линия сварки остается резко выраженной, так как

между волокнами металла не существует никакой связи, получается слабое сцепление частиц металла и всегда возможен значительный брак.

Сварка впритык требует нескольких нагревов, она недостаточно прочна, так как волокна металла не переплетаются друг с другом, а потому такой сварки надо по возможности избегать. Сварка такого рода может быть очень красивой, без следов, свидетельствующих о неоднородности металла, и тем не менее обладать лишь слабым сопротивлением разрыву даже при большом сечении стыка. Сварка впритык каких-либо частей, подвергающихся разрывающим усилиям, недопустима.

Другим видом сварки впритык является, так называемая, сварка вразвил (рис. 370), которой пользуются для присоединения лезвий инструментов, как, например, лезвий зубил и напильников молотков. Изделия раскаливают по длине, затем нагревают до вара, после чего в развил помещают зазубренный конец привариваемой стальной части и развил закрывают. Затем нагревают возможно скорее сталь до красного каления. К этому времени железо достигает уже сварочной температуры (белого каления), позволяющей произвести сварку. Железо должно охватывать сталь снаружи, так как оно лучше выносит нагрев, нежели последняя.

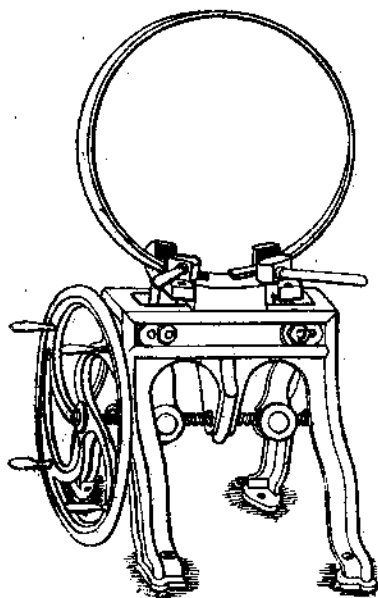


Рис. 367.

Такого рода сваркой пользуются также для соединения двух цилиндрических изделий. Торцы одного из них после соответствующей высадки раскалывают. Конец другого изделия скашивают на клин и вставляют в получившуюся вилку (рис. 371).

После этого ударами молотка, направленными нормально к оси изделия и, следовательно, под углом к наклонным поверхностям, вызывают сдвиг металла. Ковку производят попеременно, то поперечными ударами, то ударами по торцам для более плотного примыкания свариваемых частей.

Если изделие плоское и широкое и одновременно тонкое, то можно сваривать языками (рис. 373).

Чаще всего при небольшой толщине изделий сварка производится попросту внахлест (внахлест), ширина которого может быть от нескольких миллиметров до одного сантиметра, в зависимости от толщины металла. Этим процессом пользуются, например, при сварке железных или стальных труб, свернутых спирально из полосы с кромками, перекрывающими друг друга.

При этой сварке кромки торцов свариваются с трудом, оставляя следы в виде трещин, которых можно избежать при сварке с косым срезом кромок (рис. 375); последняя применяется чаще других. Кромки каждой части попросту сводят на-нет при тонком металле, как, например, при сварке колец и других подобных изделий. Этот прием практикуется также

при сварке железных или стальных труб, сворачиваемых на прокатном стане или под молотом, если изделие нагревается электрическим током.

Рисунок 376 изображает другой вид подобной же сварки для образования петли или ушка. Если толщина изделий позволяет, можно высаживать концы, но лучше последние скашивать, придавая им несколько закругленную поверхность (рис. 377) для лучшего вытеснения окалины.

При первом нагреве обе части свариваются, при втором нагреве сваренное место проковывают, доводя изделие до нормальных размеров.

Для предупреждения продольных смещений стыков успешно пользуются сварочными машинами. Сварка с косым срезом, также как и другие сварки, обычно ненадежна и составляет слабое место изде-

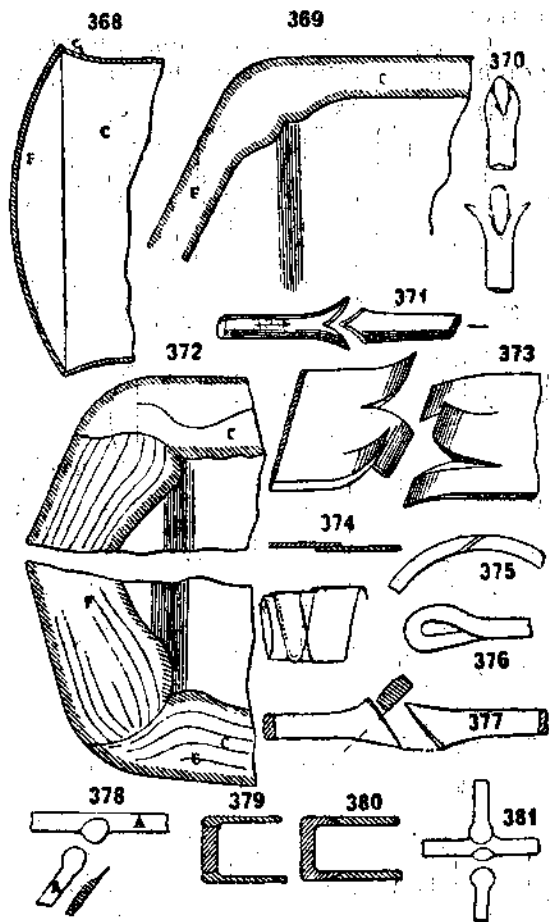


Рис. 368—381.

лия. Она затруднительна и часто бывает вероятной причиной разрывов. Испытания на разрыв показывают, что сопротивление сваренной части в среднем равняется пяти шестым сопротивления сплошных частей. Тем не менее, при хорошем выполнении случается, что сопротивление сварки бывает одинаково с сопротивлением цельного металла. При сварке внахлестку не следует преувеличивать ширины шва, этим уменьшается возможность различных ослабляющих ее недостатков.

Сварка косым швом применяется точно также для соединения частей под острым или прямым углом. На изделии А (рис. 378)

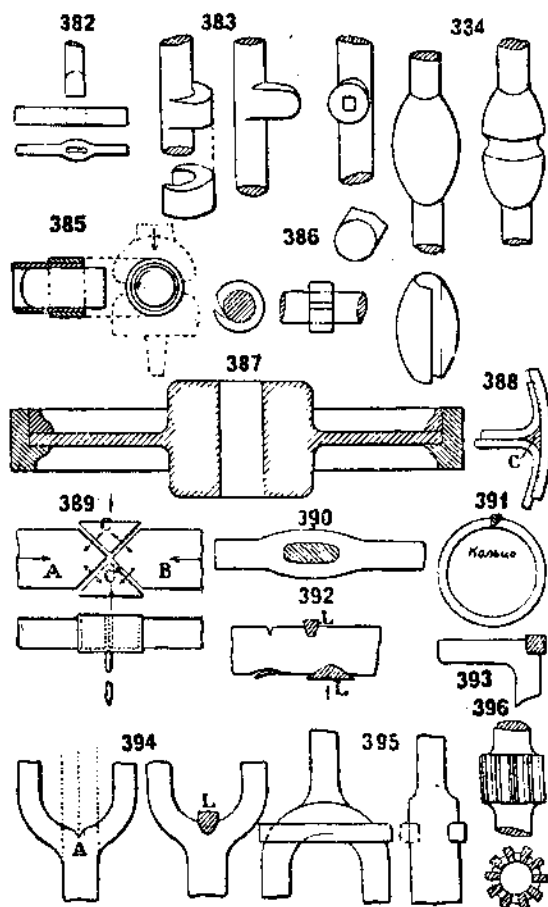


Рис. 382--396.

делается сбоку углубление, а изделию В придают соответствующее утолщение, которые входят в друг друга.

Если приходится сваривать вилку, надо избегать сварки впритык (рис. 379), а приваривать внахлестку с косым швом (рис. 380) к П-образной головке вилки.

При сварке крестовины (рис. 381) две поперечины ее привариваются к двум остальным, составляющим одно целое. В последней цельной части делают два углубления, в которые вставляют высаженные концы двух первых отдельных поперечин.

Иногда сварка производится в охват (рис. 382). Часть В пропускается через просверленную часть А. Таким образом, если образование окалины не препятствует сварке, то получается хорошая связь. Сварка цилиндрических частей (рис. 383) производится в охват.

Утолщение цилиндрических изделий можно наваривать также в охват. Таким образом производится наварка фланцев, заплечиков

и головок болтов, если эти части не высаживаются, а образуются путем накрутки полосы со скошенными концами (рис. 384 и 386). Последние не должны сходиться друг с другом перед операцией, чтобы удлинение, которому подвергается полоса при сварке под молотом, не вызвало бы утолщения, препятствующего хорошему выполнению работы.

Кольца для приварки к трубе делают заранее из полосы, которую свертывают и сваривают косым швом. Конец трубы калибруют и сводят несколько на конус. Кольцо и трубу сваривают в штампах (рис. 385). Конец трубы необходимо надеть на оправку для предупреждения деформации трубы при проковке ударами. При ковке трубу поворачивают вокруг своей оси.

Такие цилиндрические изделия, как, например, диск и обод вагонного колеса свариваются как показано на рис. 387. Обод имеет закраину, на которую ложится диск, с другой стороны которого помещается кольцо. Нагревать колесо надо целиком до сварочной температуры, исключая, конечно, втулки, которая прогревается слабее. Сварка производится в матрицах, чтобы давления развивались во всех направлениях, что обеспечивает полную связь частей между собой.

При недостаточности металла для образования утолщений при косом шве сварку производят как показано на рис. 389.

Концы частей *A* и *B* заканчивают двумя наклонными поверхностями, позволяющими установку двух клиньев *CC'*. При сварке проковка по клиньям вызывает на наклонных поверхностях давления, способствующие сцеплению частиц металла. Ясно, что части *A* и *B* надо соответствующим образом удерживать во избежание смещения. Для удержания при сварке на месте клиньев к ним приваривают тонкие прутья, которые отрезают после операции.

Этого рода сварка применима для бандажей, колесных ободов и т. п. Для заполнения углов, например, угла *C* между спицами и ободом колеса (рис. 388), и для укрепления этих частей, склонных разойтись, загоняют клинья.

Таким образом, когда нельзя высаживать изделия, так как при этом изменяется его длина, то при вварке клина его можно уширить в любом месте (рис. 390). Изделие расщепляют по длине и в образовавшееся отверстие вваривают клин.

Звенья топочных труб иногда сваривают при помощи клиньев (рис. 391), слегка скашивая предварительно кромки листов. Таким образом получаются два сварных шва, тогда как при сварке внахлестку получается только один шов.

Иногда клиньями пользуются для заделки трещины или глубокой выбоины (рис. 392), для укрепления изделия в том месте, где части его стремятся разойтись, вследствие ли своей формы или от усилий, которым они подвергаются, как, например, при выделке вилки (рис. 394) путем расщепления конца прута или полосы и разводки получившихся концов. Действующие на вилку усилия стремятся вызвать разрыв ее в точке *A*. Поэтому в этой точке хорошо вварить клин *L*, укрепляющий основание вилки. Для хорошей сварки необходимо расширить заполняемое клином место. Вместо клина лучше приваривать с каждой стороны вилки по планке по всей ее ширине (рис. 395), предварительно сделав в вилке соответствующие пазы. Сварка производится при вишнево-красном калении с пластинкой Ляфитта, под молотом двойного действия, который сперва действует прессом, а затем легкими ударами.

Вторая сварка производится тоже при вишнево-красном калении для большей надежности операции. После этого производят такую же операцию с противоположной стороны вилки. Изделие не деформируется и после такой обработки вполне удовлетворяет своему назначению. Этот процесс в настоящее время можно считать общепринятым при ремонте паровозных шатунов.

Точно также, чтобы укрепить угол прямоугольника, к нему можно приваривать брусок (рис. 393). Если требуется усилить часть цилиндрического вала (рис. 396), то загоняют клинья в прорезаемые в шейке пазы и затем вваривают их.

Если изделие состоит из нескольких сваренных попарно частей, то сварка их в одно целое представляет длинную и сложную работу.

Лучше производить все сварки при одном нагреве в матрице как, например, производится сварка различных частей вагонного колеса.

Сварка трением. Если развить в месте контакта свариваемых частей трение достаточно сильное, чтобы довести металл до сварочной температуры, то под давлением, вызывающим это трение, обе части соединяются друг с другом без проковки или дополнительного давления. Этот процесс применяется для сварки штанг и для сварки труб ¹⁾. Концы штанг срезаются вкось, вводятся в муфту, которую ставят затем на центры специальной машины, вращающейся с большой скоростью. Трение, развивающееся между внутренней стенкой муфты и концами штанг, вращающимися в противоположных направлениях, размягчает последние и сваривает их совершенно, без добавления какого-либо сваривающего материала.

Нам кажется, что процесс этот не вполне надежен, обходится он дорого, а потому применим только в специальных случаях.

Электрическая сварка.

Электрическая сварка в сущности не является сваркой в установленном смысле этого слова, так как отдельные части соединяются путем сплавления друг с другом, или путем сплавления их со вспомогательным металлом. Таким образом, этот процесс имеет больше сходства со спайкой.

Так как чаще всего получающиеся при таком процессе швы приходится проковывать, то операция электрической сварки сводится к одному только нагреву, позволяющему концентрировать тепло в заданной точке.

Различают несколько способов применения электрического тока для сварки. Мы приводим здесь только процессы Эллу Томсона, Бенардоса и Бенардоса.

Первым применил электрическую энергию для нагрева и сварки металлов сплавлением Томсон около 1880 года.

Его процессы получили в настоящее время широкое применение.

Усовершенствование вспомогательных аппаратов, содействие опытного в работе персонала и принятие процесса в некоторых предприятиях, как, например, на заводах Ллойд и Ллойд в Англии, ввели этот процесс в практику производства самых разнообразных изделий.

Процесс Эллу Томсона основан на законе Джоуля, гласящем, что тепло, развиваемое током в цепи, пропорционально встречаемому им сопротивлению, квадрату силы тока и продолжительности его протекания ²⁾. Таким образом электрическая энергия трансформируется в энергию тепловую.

Если два железных бруска (рис. 402) соединить один с положительным, а другой с отрицательным полюсами источника электрической энергии, и затем сдвинуть их до соприкосновения, то стык пред-

¹⁾ Процесс Бевингтона. Die praktische Maschinen-construction. 14 авг. 1892 г.

²⁾ Назовем через W общее количество развиваемого тепла, через t продолжительность действия тока, через I силу тока в амперах, через R сопротивление в омах и через A механический эквивалент тепла ($424 \times 9,81$); относя электрические единицы к единицам массы, но не веса, будем иметь:

$$W = \frac{RJ^2t}{A} \text{ калорий (больших)} = 0,00024 RJ^2t.$$

Средняя сила тока при напряжении 60 вольт должна быть в среднем от 8 до 10 ампер на мм^2 сечения свариваемого бруска.

ставит сопротивление, допускающее протекание тока достаточной силы, способного довести поверхности контакта до температуры плавления. Последняя допускает при ударах или сжатии соединять эти части и сваривать их.

Аппараты позволяют регулировать по желанию силу тока, в зависимости от величины свариваемых поверхностей. Свариваемые части удерживаются в контакте соответствующими рычагами, действующими автоматически. Потребная энергия зависит от природы металла, его температуры и размеров изделий. Так, например, для сварки двух прутьев диаметром 25 мм требуется 4 кВт. Ток, который пропускается только на очень короткое время, должен быть большой силы при очень невысоком напряжении. Поэтому пользуются трансформатором, который во многих случаях рассчитывается таким образом, чтобы при переменном токе силой в среднем 20 ампер при напряжении 600 вольт в первичной обмотке, во вторичной обмотке индуктировался ток в 1200 ампер при напряжении 1 вольт.

На рис. 397 изображен такой аппарат, состоящий из первичной возбуждающей кольцевой обмотки *A* из тонкой проволоки, соединенной с альтернатором. Вторичная обмотка состоит из одного медного стержня *B*, между концами которого зажимают свариваемые изделия *P*, *P'*, сжимаемые между собой гайками и скобами. Концы хомута, а следовательно и изделия, можно по желанию сближать или разводить пружиной *R* и винтом *V*. Железо трансформатора состоит из двух катушек *C* из железной проволоки, надетой на первичную и вторичную обмотки. Таким образом, возможно свободное движение хомута *B*. Вторичный ток регулируют включением сопротивлений в первичную цепь.

Для сварки небольших изделий можно пользоваться альтернатором с самовозбуждением и обмоткой якоря из толстой проволоки.

Процесс Томсона особенно пригоден для сварки впритык брусьев, полос, рычагов, валов, рельсов, т.е. изделий довольно значительной величины.

Расход тока и продолжительность сварочной операции, примерно, следующие:

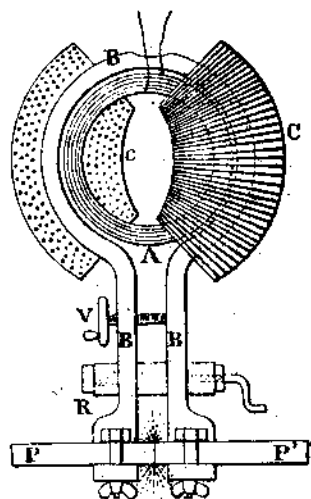


Рис. 397.

Диаметр мм	Продолжи- тельность сварки в секундах	Энергия в кВт	Расход энергии на сварку кВт/ч
6	1,8	2,2	0,085
10	4,5	4,0	0,59
16	11,0	9,6	3,0
22	22,0	15,4	9,4
26	32,0	20	17,11

Изделие довольно значительной длины и круглого сечения с диаметром d для нагрева до температуры плавления требует тока $I = \frac{2}{3} Kd$ при d , выраженном в миллиметрах, и при следующих значениях K :

	Медь	Железо	Олово	Свинец
$K = . . .$	20	24	12	10

Процесс Бенардоса появился несколько позднее процесса Томсона. Он основывается на применении для доведения металла до температуры, близкой к температуре плавления вольтовой дуги и угольного электрода.

Угледержатель (рис. 403) имеет деревянную ручку, через которую проходит провод, подводящий постоянный ток. Металлический стержень, заканчивается зажимом для установки угля, а металлический диск, покрыт слоем асбеста на поверхности, обращенной к оператору для защиты его от искр.

Если свариваемая поверхность значительной длины (как, например, при сварке трубы по образующей), то сварку производят по частям. После этого каждую часть быстро проковывают молотом для большей надежности сварки и однородности металла. При этом стремятся получить довольно длинную дугу, чтобы возможно шире распространять тепловой эффект и чтобы можно было перемещать уголь без разрыва дуги.

Первоначально этот процесс был применен для сварки свинцовых изделий, а затем для сварки железных и медных труб, звеньев топочных труб, труб большого диаметра, резервуаров для сжатого воздуха, резервуаров из тонких листов, когда требуется непроницаемость швов, в судостроении и т. п. случаях.

Свариваемое изделие помещают на изолированную подставку. Сварщик помещается в изолированной будке с окнами из красного стекла для защиты других рабочих от ослепления чрезвычайно ярким светом дуги. Ток может достигать 1000 ампер при напряжении от 80 до 100 вольт.

Напряжение тока до 30—40 вольт уменьшают последовательным включением в цепь сопротивления. Необходимо иметь возможность регулировать это сопротивление по желанию, чтобы располагать всегда наиболее подходящим напряжением, так как колебания его, даже очень небольшие, оказывают сильное влияние на ход операции.

Лучшие сопротивления изготавливаются из мельхиоровых или ферро-никкелевых проволок. Сопротивление должно быть подразделено таким образом, чтобы включение первого элемента понижало напряжение между концами дуги до 40 вольт, при чем дополнительное регулирование производится более или менее одинаковыми элементами сопротивления.

Кроме того, если в цепь включить индукционную катушку, то получается большее однообразие режима дуги.

Таким образом упрощается образование дуги и достигается большая ее стойкость. Вместе с тем избегаются искры и разлетание капель металла при мгновенном повышении напряжения.

Понижение напряжения первичного тока в 220 вольт и более до 30 или 40 вольт путем включения сопротивлений обошлось бы слишком дорого, а потому его предпочитают преобразовывать моторгенератором в ток напряжением в 40 вольт, достаточный для поддержания непрерывности дуги. Переменный ток не столь гибок, как постоянный и требует напряжения в 75 вольт, которое получается посред-

ством трансформации тока обычно значительно более высокого напряжения.

На заводе Ллойд и Ллойд в Комбс-Вууде установка состоит из мотора в 120 сил, приводящего три динамомашин Кромптона, развивающие 150, 200 и 300 ампер при напряжении от 140 до 150 вольт. Установка дополняется регуляторной аккумуляторной батареей из 1800 аккумуляторов Бенардоса весом каждый 31 кг вместе с электролитом. Каждый аккумулятор дает слабый ток, максимум 1 ампер на килограмм веса пластин, отчего они прекрасно работают при переменном режиме работы.

От батареи отходят две группы проводов, идущих в сварочный цех, разделенный на отделения, оборудованные наковальнями и сварочными машинами. Положительные провода присоединены к наковальням, а в отрицательные включены реостаты из железных полос, свернутых в спирали. Реостаты необходимы для предупреждения короткого замыкания динамомашины. Угли нагреваются через несколько минут.

После замены, горячие угли погружают в воду. Каждое отделение тщательно закрыто, чтобы свет от вольтовых дуг не беспокоил других рабочих. Дуги от 300 до 500 ампер вызывают солнечные удары.

Можно также вольтову дугу, полученную между двумя углями, сдвигать на изделие в виде пламенного языка. Вольтова дуга перемещается посредством двух электромагнитов, а при переменном токе язык пламени направляется на изделие, вследствие расположения углей параллельно друг другу. Длина пламенного языка зависит от напряжения тока.

Сварочный аппарат (рис. 398, 399) состоит из двух медных или латунных угледержателей, приводимых в движение одновременно вручную посредством шестерен и зубчатых реек, так что их можно удалять или сближать по мере сгорания углей.

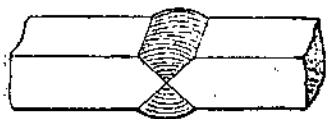


Рис. 400.

Бруски квадратного сечения, в 10 мм в стороне, можно быстро доводить до белого каления на протяжении нескольких сантиметров током напряжением в 50 вольт и силой 150 ампер, что дает около 7500 Вт и 7,5 кВт.

Сварка наплавкой металла, процесс Славянова. — Если один из полюсов, например, положительный, соединить с изделием, а другой — с металлическим электродом небольшого сечения так, чтобы он плавился под действием температуры этой дуги, то получающийся таким образом металл можно сплавлять в промежуток между свариваемыми изделиями. В этом случае концы обоих изделий скашивают так, чтобы получился паз в виде буквы V (рис. 400). Таким образом наплавляют последовательно на некотором протяжении несколько слоев металла. Как только металла наплавится достаточное количество,

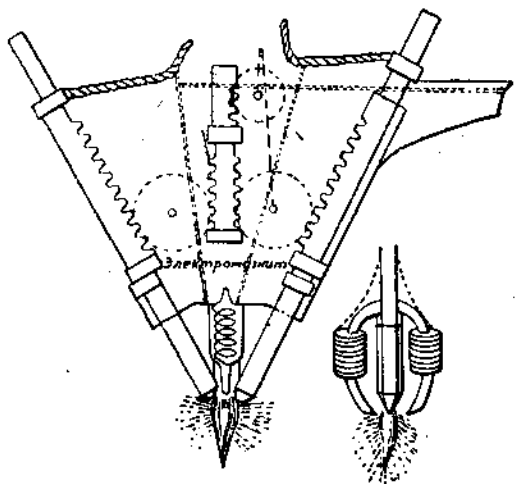


Рис. 398—399.

его проковывают молотком. Для облегчения работы надо подогревать свариваемые части до температуры около 200° бензиновой лампой или автогенным пламенем.

Для сварки листов рабочая длина электрода принимается в 30—35 см, диаметр же его зависит от толщины последних. Так, например, при толщине листов от 5 до 6 мм требуется электрод диаметром от 3 до 4 мм и энергия около 0,4 кВт.

Сила тока зависит от сечения электрода: например, для сварки железа и стали она колеблется от 30 до 200 ампер при напряжении 30 вольт.

Электрод делается из мягкого железа с небольшой алюминиевой проволокой и закрывается футляром из асбеста, пропитанного сили-

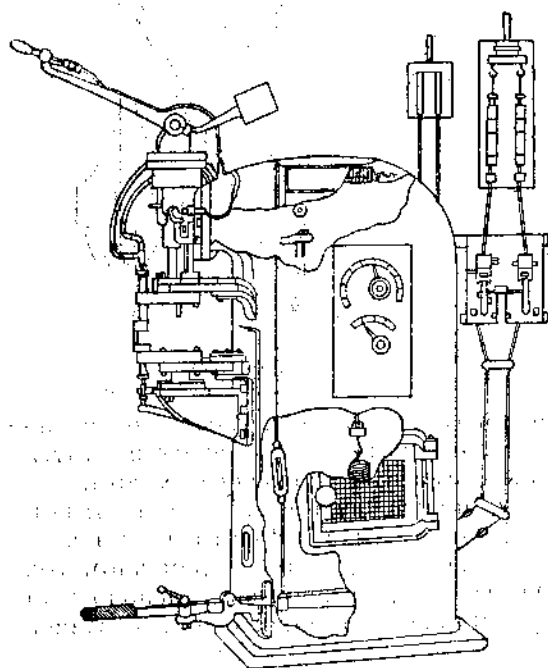


Рис. 401.

катом. Футляр направляет дугу и предупреждает разбрызгивание металла. Во время операции электрод регулярно отводят от изделия на расстояние от 4 до 5 мм. Алюминиевая проволока служит для улучшения сварки, предупреждая окисление металла, а футляр из непроводящих тугоплавких металлов расплавляется медленнее металла и образует оболочку дуги, препятствующую ее затуханию.

Электрическая сварка с наплавкой металла применима для всякого рода работ и получила широкое распространение, так же как и электрический нагрев, позволяющий производить такие сварки, которые до сих пор считались невыполнимыми в обыкновенных кузнечных печах. Процесс этот может применяться для сварки поломанных тяг, без

вреда для соседних частей, для сварки фасонного железа, рельсов, изделий сложной выпуклой формы, для ремонтных работ на местах, для сварки клиньев и заварки трещин паровых цилиндров и локомотивных колес.

Одинаково хорошо свариваются также медь, латунь и другие металлы.

Электрическая сварка, процесс Бернардоса. — Бернардос производит электрическую сварку¹⁾, приводя изделие в контакт с огнеупорным и плохо проводящим ток материалом (графит, химический уголь), в то время как через это тело проходит сильный электрический ток, придающий металлу необходимую для такого рода работы температуру. Этим процессом можно сваривать листы и тонкие подосы, можно нагревать изделия до температуры закалки или температуры отпуска. Этот процесс также основан на законе Джоуля.

¹⁾ Патент 21 апреля 1888 года.

Для сварки между собой двух тонких листов их соединяют гибким проводом с одним из полюсов источника электрической энергии с незначительным внутренним сопротивлением. К другому полюсу присоединяют рычаг K (рис. 408). Этот рычаг состоит в главных своих частях из металлического стержня, хорошо проводящего ток (медь), и имеет на своем нижнем конце небольшой наконечник. Тело рычага снабжено рукояткой, предохраняющей руки сварщика от ожогов и тока. Для того, чтобы удлинить срок службы, рукоятка охлаждается проточной водой.

Как только электрод W коснется металлических частей A_1A_2 , цепь замыкается и значительная часть электрической энергии обращается в тепло в дурном проводнике W , который раскаляется.

Регулируя напряжение тока реостатом C , повышают или понижают температуру наконечника w , пока свариваемый металл не начнет плавиться. Затем при умеренном давлении перемещают или электрод вдоль сварного шва, или металл под неподвижным электродом.

Когда работа закончена, прерывают ток и отнимают электрод от металла.

При работе свариваемые части кладут на подставку из дурно проводящего тепло материала, как, например, из асбеста.

При некоторых работах предпочитают пользоваться двумя противоположно расположенными электродами, соединенными один с отри-

цательным, а другой с положительным полюсом источника тока, при чем оба электрода изолированы друг от друга.

Такое устройство изображено на рис. 406. Два рычага KK'' вращаются вокруг связывающей их изолированной оси. Провода от источника тока подводятся к зажимам $D'D'$. Ток от зажима D' идет к электроду W' , проходит через свариваемый металл в электрод W'' и возвращается к зажиму D'' , от которого через реостат возвращается к источнику тока.

Деревянные рукоятки рычагов соединены между собой пружиной E , сжимающей оба электрода друг с другом.

Рычагам и электродам можно придавать различные формы, в зависимости от характера свариваемого металла и от расположения

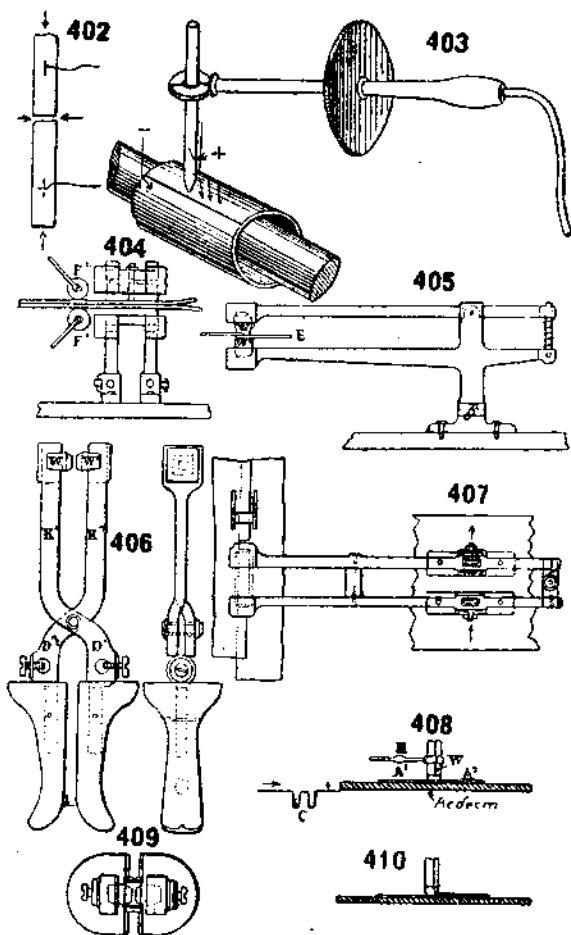


Рис. 402—410.

свариваемых частей. Так, например, при сварке двух листов нижний электрод делается плоским или слегка выпуклым, а верхний коническим, при чем диаметр зависит от толщины листов. Необходимо, чтобы свариваемые листы были хорошо зачищены или же можно пользоваться сварочными флюсами или пластинками, способствующими успеху операции.

Затрата энергии зависит от характера и толщины изделий, от быстроты операции и давления электродов. При производстве большого количества одинаковых работ необходимы предварительные испытания. При аппаратах с регулировкой напряжения пользуются переменным током от 220 до 440 вольт с частотой в 60 периодов. Если частота меньше 60, необходим специальный трансформатор. Более высокие напряжения опасны. Можно также пользоваться одной фазой многофазного тока. Напряжение понижается до 2 или 4 вольт трансформатором, установленным в станине машины, как то показано на рис. 401.

Можно привести следующие данные о расходе энергии, зависящие от толщины листов.

Толщина листов мм	0,5	0,8	1	5	10	15	20	25	30
Энергия в кВт	4	7	10	24	36	45	50	60	70
Продолжительность сварки в секундах .	0,4	0,6	1	2	4	5	6	8	10

Рисунки 404, 405 и 407 изображают аппарат, отличающийся от предыдущих тем, что ток не проходит через свариваемый металл. Электрод состоит из дурного проводника, и ток, проходя через него, нагревает его совершенно так же, как нить лампочки накаливания. Свариваемое изделие *E* перемещают между раскаленными электродами или руками, или посредством роликов.

Этот аппарат обладает тем преимуществом, что позволяет разводить рычаги или вынимать свариваемый металл из аппарата, не прерывая тока, без образования искр или вольтовой дуги между металлом и аппаратом.

При размерах угля 80×20 мм требуется ток в 500 ампер при напряжении 8 вольт. При размерах угля 120×20 мм требуется ток в 800 ампер при напряжении 10 вольт.

Этот процесс обладает тем преимуществом или недостатком, что обуглероживает свариваемый металл до такой степени, что его не берет напильник. При этом происходит быстрая цементация металла, которую можно было бы использовать для специальных случаев.

Иногда применяют медные электроды в виде больших шайб, захватывающих изделие и сильно сжимающих его. Это устройство можно приложить к сварке втулки и спиц экипажных колес. Процесс рационален, так как сопротивление в частях, менее соприкасающихся друг с другом, а также в наиболее горячих частях, а именно в местах сварки весьма значительно. Отсюда вытекает, что эти части достигают высокой сварочной температуры быстрее других частей. Для сварки этих втулок пользуются током мощностью около 80 киловатт, операция продолжается от 15 секунд до 2 минут, в зависимости от сечения последних.

При прохождении тока нагревается железо, так как сопротивление его приблизительно вчетверо больше сопротивления меди. Кроме того, так как сопротивление металлов с повышением температуры возрастает, то нагревание усиливается и распространяется в глубину.

Зависимость сопротивления от температуры выражается уравнением:

$$R = r_0(1 + at + bt^2),$$

где R — сопротивление металла при температуре t , r_0 — сопротивление его при температуре 0° , t — температура в градусах Цельсия, a и b — коэффициенты, значения которых для металлов равняются $a = 0,0038$ и $b = 0,0000013$.

Так, например, сопротивление железа в микромах на сантиметр при 1000° равняется $r'' = 9,636$, а потому имеем:

$$R = 9,636 (1 + 0,0038 \times 1\,000 + 0,0000013 \times 1\,000\,000) = 572,8.$$

Таким образом, видно, что сопротивление принимает очень благоприятное значение для операций при высоких температурах металла, так как и при этом в сильной степени увеличивается его сопротивление.

В виде примера применения электрической сварки назовем сварку стыков рельс, уложенных на шпалы. Длина рельс обычно от 12 до 24 метров. Рельсы можно выделывать и большей длины, но с ними неудобно обращаться. Для уменьшения числа стыков пути было предложено сваривать их на месте, нагревая их концы электрическим током.

Торцы рельс зашлифовывают на месте, после чего между двумя торцами загоняют тонкую стальную пластинку того же сечения и контура. Затем берут ток от троллейных проводов, идущих над линией, нагревая им свариваемые части, которые соединяются давлением от теплового расширения обоих рельс.

В этом случае пользуются мотогенератором, который питается постоянным током в 500 вольт и преобразовывает его в переменный ток напряжением также в 500 вольт. Последнее напряжение понижается трансформатором до 4 вольт, при чем ток достигает 40 000 ампер, которые и подводятся к соединяемым рельсам. Ток производит нагревание достаточное, чтобы довести металл до сварочной температуры в течение двух или трех минут.

Таким образом, при нагревании электрическим током операция получает чисто механический характер. Аппараты, подводящие ток, снабжаются измерительными инструментами и представляют собой полные сварочные машины. Электрическая сварка в настоящее время прекрасно разработана в большинстве своих многочисленных применений.

Для сварки или высадки бандажей применяется машина Фора (рис. 411), имеющая двое тисков, служащих для удержания и сближения свариваемых концов. Одни из этих тисков — подвижные и передвигаются рукояткой с четырьмя плечами, позволяющей развивать давление, достаточное для операции. Тиски могут приводиться в движение механически, ремнем и шкивом. Эта машина позволяет сваривать различные изделия и ремонтировать такие инструменты, как сверла и развертки. Точно также на этой машине можно наваривать

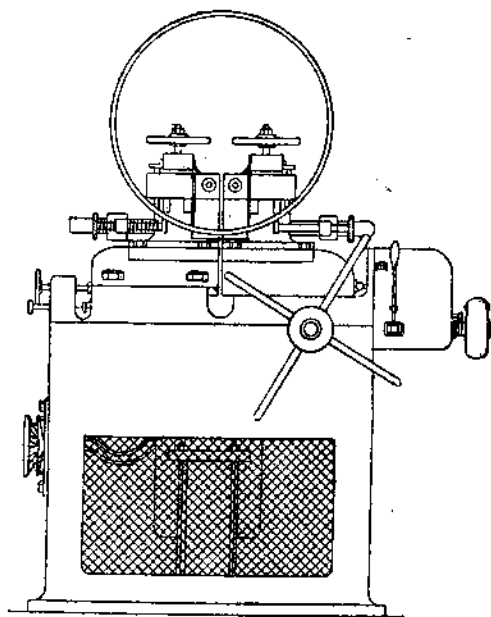


Рис. 411.

специальные стали на токарные резцы и стеллит к телу инструмента из мягкой стали (рис. 412), а также приваривать развертки и фрезы к хвостам из обыкновенной стали. Местная высадка металла получается очень легко.

Внутри станины помещается трансформатор. Напряжение и сила вторичного тока, применяемые в машине, колеблются от 1 до 4 вольт и от 1000 до 7000 ампер.

Эта сварочная машина изготавливается 5 моделей на 5, 15, 25, 40 и 60 киловатт и напряжением 110, 220 и более вольт.

Диаграмма (рис. 414) дает сечение свариваемых изделий при сварке меди с медью и стали со сталью. Абсциссы соответствуют киловаттам, а ординаты — сечениям.

Машина типа Фора (рис. 415) предназначена для сварки тонкостенных труб. Рычаги передвигаются педалью или электромотором, работающим на шкив.

Первоначально сварку

производят только в нескольких точках для соединения свариваемых частей. Операция производится быстро и экономично.

Электрические сварочные машины обладают большими достоинствами и очень ценны при сварке тонких изделий. Изделия следует предварительно нагревать, что облегчает работу. Так, например, при подогревании бензолом в течение двух часов можно сварить 100 метров труб диаметром 50 мм и толщиной 2 мм, тогда как без такого нагревания требуется вдвое больше времени.

Надо еще добавить, что электрическим током можно также нагревать изделия до высокой температуры в жидких ваннах. Этот гидротермический процесс может применяться к большинству ковочных работ ¹⁾.

Он заключается в превращении электрической энергии в химическую, которая, в свою очередь, преобразовывается в тепловую. Таким образом, первая операция представляет электролиз, а вторая заключается в химическом соединении полученных таким образом элементов.

Электролит состоит из раствора углекислой соды, удельный вес которого равняется 1,306 при температуре 29° С, или из раствора рав-

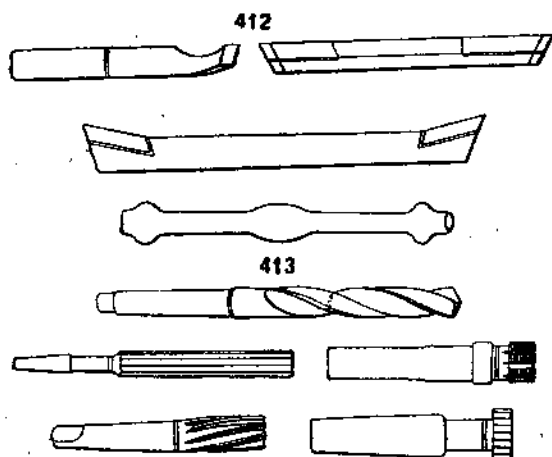


Рис. 412—413.

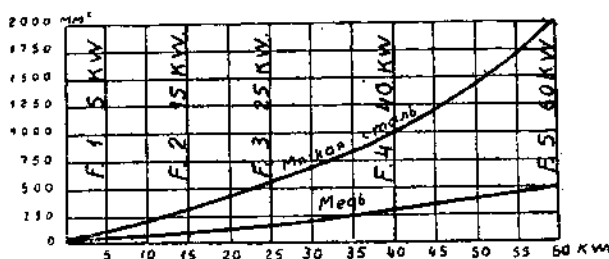


Рис. 414.

¹⁾ Этот процесс был впервые предложен Лягранжем и Хохо (Lagrange et Hoho) в 1890 году. Запатентовал его Буртон в Бостоне вместе с целым рядом аппаратов.

ных частей углекислой соды и кремортартора плотностью 1,255 при 25° С, или же из раствора 5,436 кг углекислой соды и 453 грамма буры в $\frac{3}{4}$ по весу воды. При низких напряжениях (от 100 до 200 вольт) можно пользоваться раствором поташа в пяти частях по весу воды. При напряжениях свыше 250 вольт надо понижать проводимость ванны.

Поверхность контакта анода с электролитом гораздо больше поверхности нагреваемого изделия, служащей катодом.

Анодом служит свинцовая, медная или иная пластина с хорошей проводимостью, предпочтительно прямоугольной формы, нижняя сторона которой ставится на дно сосуда, а другая параллельна его верхнему краю. Служащее катодом изделие соединяют с отрицательным полюсом. При соединении с положительным полюсом нагревания не происходит.

Изделие свободно опускают в жидкость или помещают на подставке так, чтобы поверхность его находилась ниже уровня ванны.

Подставка состоит из непроводящего материала, как, например, камень, огнеупорный кирпич или еще лучше шифер. Поверхность подставки насаживается или покрывается ребрами, так чтобы жидкость могла соприкасаться со всей поверхностью металла и чтобы раскаленная газовая оболочка могла совершенно охватывать последний. Напряжение применяемого тока от 125 до 500 вольт, а сила его — 6 ампер и менее, в зависимости от размеров и объема изделия.

Для нагревания изделий диаметром около 25 мм до сварочной температуры в течение 40 секунд требуется 45 кВт, после чего изделие готово для проковки. Это составляет 90 Вт на квадратный миллиметр, тогда как при процессе Томсона достаточно 24 Вт.

Для работ с ванной требуются две партии кузнечных рабочих. При сварке надо иметь в виду, что нагревание происходит в атмосфере водорода, в котором нет ни нечистот, ни шлаков, отчего получается совершенно чистый и хорошо сваривающийся металл. Газовая оболочка, состоящая из водорода, представляет большое сопротивление, развивающее высокую температуру. Получающееся таким образом тепло передается металлу. При приварке небольшого изделия к большому надо нагревать только то место, к которому производится приварка. Нагревание можно регулировать, увеличивая или уменьшая напряжение тока в цепи. Для нагрева закаливаемой стали электролит составляют из раствора углекислой соды в глицерине, смешанном в небольшом количестве с водой. Нагревание при этом происходит медленнее нежели при водных растворах. Этот процесс нагрева применим для всех обычных случаев; некоторые заводы успешно пользуются им для сварки экипажных осей. При очень слабом растворе ванны количество развивающегося тепла очень невелико, вследствие чего можно нагревать докрасна проволоки диаметром только от 2 до 3 мм. В концентрированном же растворе, круглое железо диаметром 18 мм плавится скорее, чем при самом сильном огне в печи. Нагревание изделия начинают с угла на воздухе, после чего его глубже

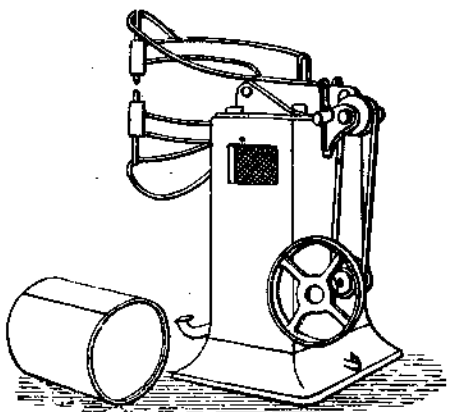


Рис. 415—416.

погружают в ванну ¹⁾. Температуру ванны следует поддерживать от 50 до 70°, если только ей не пользуются для закалки путем перерыва тока. В этом случае электролиз прекращают, и инструмент входит в соприкосновение с холодной жидкостью. Если производится закалка целого ряда изделий, то их охлаждают в стоящей рядом ванне.

Этот процесс получил важное значение при закалке инструментов.

Так, например, в электрической нагревательной ванне небольшого размера, емкостью 200 × 200 × 200 мм, можно нагревать ежегодно свыше 60 000 таких изделий как метчики, волочильные доски и тому подобные инструменты.

На рис. 417 изображена установка с нагревательной печью для предварительного подогревания нефтью с воздушным дутьем под да-

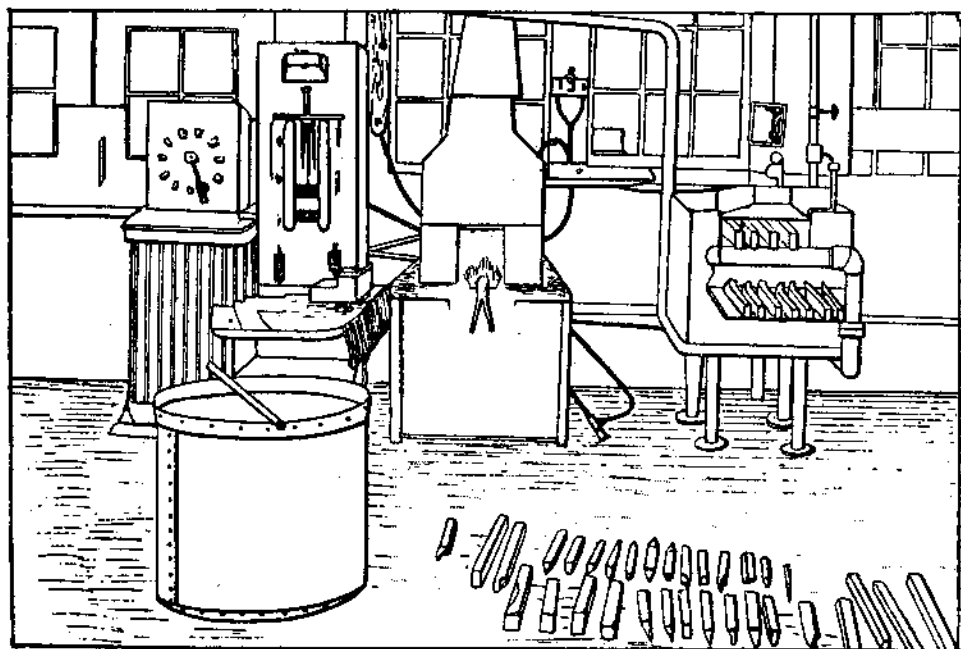


Рис. 417.

влением в 40 сантиметров водяного столба. Эта печь помещается слева от электрической ванны. Инструмент сперва нагревают докрасна в нефтяной печи, после чего переносят в электрическую печь, нажимая в момент погружения в ванну кнопку часов, помещающихся справа от печи, отчего загорается электрическая лампочка. В конце промежутка времени, необходимого для нагрева изделия до требующейся температуры, электрическая лампочка снабженная часовым механизмом гаснет.

Продолжительность горения лампочки определяется предварительными опытами. Изделие погружают в бак с маслом, стоящий слева на переднем плане рисунка. Масло взбалтывают и поддерживают при комнатной температуре воздухом, поступающим под давле-

¹⁾ Сперва надо нагревать угол или ребро изделия, и так как сопротивление металлов возрастает с повышением температуры, то нагревание таким образом ускоряется. Если погруженная поверхность слишком велика, то иногда нагревания вовсе не происходит.

нием через погруженную в ванну трубку. Рядом с пирометром помещается установка для воздушной закалки нескольких инструментов одновременно.

Автогенная сварка и резка.

Автогенная сварка с наплавкой металла обычно производится горелкой, питаемой горючим газом и кислородом. Кислород доставляется в баллонах, сжатый под давлением в 150 атмосфер.

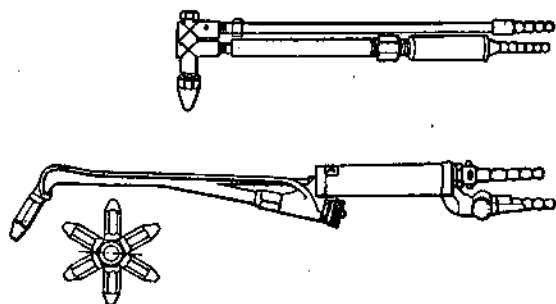


Рис. 418—419.

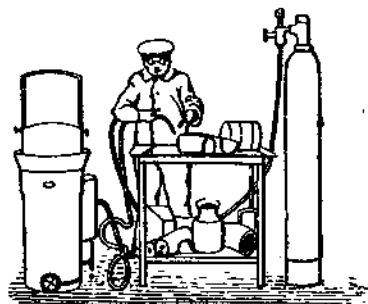


Рис. 420.

Горючим газом служит чаще всего ацетилен, иногда каменноугольный газ.

Процесс этот получил широкое применение при сварке всевозможных металлов.

Кислородно-водородный процесс позволяет производить сварку изделий толщиной до 4 мм, тогда как кислородно-ацетиленовый процесс, дающий более высокие температуры от 3000 до 4000°, пригоден при любой толщине изделий.

Горелка типа Нолас (Nolas) (рис. 418), или горелка (рис. 419) типа Пикара (Picard) имеют две трубки, к которым присоединяются резиновые шланги, подводящие газ. Тело горелки заканчивается навин-



Рис. 421.

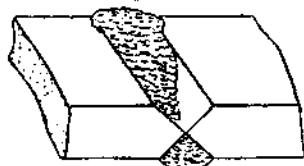


Рис. 422.

чивающимся латунным наконечником, который можно сменять, в зависимости от потребного притока газов. Расход ацетилена колеблется при сварке и спайке тонких листов до 3 мм, и при сварке свинца—от 95 до 300 литров в час. Для сварки стальных листов толщиной до 15 мм или круглого и квадратного железа до 60 мм толщиной без предварительного нагрева требуется от 100 до 1000 литров ацетилена в час.

При большей толщине изделия расход доходит от 1000 до 4000 литров в час. На рис. 420 изображен автогенный сварочный пост.

При толщине металла свыше 4 мм сварка производится наплавкой металла с прутка из шведского железа, который расплавляют между свариваемыми частями, скошенные концы которых доводятся до температуры плавления (рис. 421).

При толщине металла свыше 20 мм свариваемые части скашивают с обеих сторон (рис. 422). Работа требует большой опытности. Для облегчения ее пользуются флюсами.

Весьма важным применением автогенного процесса является применение его для резания металлов. Железо и сталь нагревают до расплавления автогенной горелкой, после чего из другой горелки направляют струю кислорода, сжигающую металл. Шлаки стекают в образующуюся прорезь. В других случаях, как, например, в горелке Пирупта (Piroupt) (рис. 423), нагревающее пламя образуется наконечником,

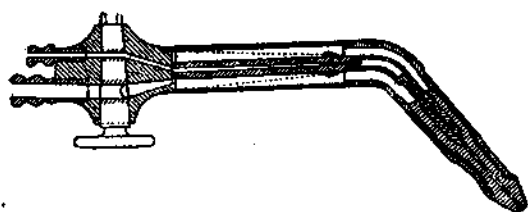


Рис. 423.

ком, в центре которого имеется сопло, подводящее струю кислорода. По кольцевому отверстию поступает водород или ацетилен. Такое устройство позволяет резать во всех направлениях, что очень важно.

Автогенная горелка режет металл любой толщины и по любым направлениям,

по прямым и кривым линиям, совершенно ровно, в особенности, если пользоваться направляющими. Она особенно выгодна при вырезании отверстий в середине листов, например, лазов и других отверстий котлов. Так, прорезка котельного лаза размером 300×400 мм в листе толщиной 20 мм требует от 5 до 6 минут.

Термитная сварка. Эта сварка заключается в том, что сжигают в небольшой чашке смесь из алюминия в зернах и мелкого порошка окиси железа. Эта смесь называемая термитом, сгорая, развивает очень высокую температуру, около 3000° .

Алюминий соединяется с кислородом, образуя окись, тогда как железо собирается на дне чашечки. Его наливают в соответствующие формы, устроенные вокруг соединяемых частей. Высокая температура расплавляет свариваемые части и соединяет их между собой литым железом.

Этот процесс применяется для сварки трамвайных и других рельс, а также при ремонте более или менее крупных изделий.

Процесс ремонтной сварки чугунных изделий аналогичен с описанным: расплавленный чугун наливают до тех пор, пока свариваемые части сами не расплавятся, чем и достигается связь.

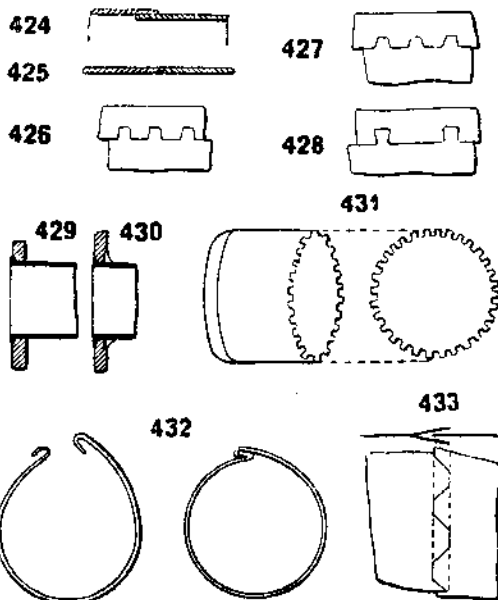


Рис. 424—433.

Сварные швы.

Листы сваривают внакрой (внахлестку) (рис. 424) или шипом.

Для увеличения прочности листы часто соединяют прямыми или косыми шипами или в ласточкин хвост (рис. 426—428).

Если изделия цилиндрические, как, например, изображенное на рис. 429, то конец внутренней части развальцовывают, а если, напри-

мер, это фланец трубы, то необходимо оставлять довольно значительное соединительное углубление (рис. 430). Если это дно сосуда (рис. 431), то соединение производится многочисленными шипами.

Тонкие листы свариваются еще в фальц (рис. 432), чем достигается особо сильное сопротивление, в особенности, если трубы подвергаются внутренним давлениям.

Иногда (рис. 433) полосы соединяют вразвил с шипами, при чем расщепляется конец одного шипа по толщине и в расщеп вводится конец другого шипа. Для уменьшения толщины шва шипы скашивают.

С п а й к а.

Спайка получается путем расплавления вспомогательного металла, проникающего между соединяемыми частями. Соединение происходит вследствие слипания металлов при сближении их под слабым давлением без проковки ударами.

Операция с некоторыми изделиями производится при нормальной температуре, с другими она производится при высокой температуре, а именно при температуре плавления вспомогательного металла. В качестве последнего служит свинец, олово или сплав состоящий из цинка, в количестве от 48 до 75 процентов, и меди, в количестве от 52 до 25 процентов. Иногда к этому сплаву прибавляют немного олова. Температура плавления зависит от содержания меди. Спайка получается тем сильнее, чем выше температура плавления.

Процесс спайки применяется для соединения более или менее законченных изделий, которые нельзя подвергать проковке. Небольшие железные и медные изделия спаиваются оловом. Железные изделия, которые должны обладать большим сопротивлением, как, например, трубы, звенья барабанов, спаиваются медью.

Пайка свинцом применяется только для свинцовых труб.

Алюминиевый припой может состоять из следующих сплавов:

Цинк	21%	60%	100%	90%	45%	38%
Олово	76 "	30 "	36 "	— "	55 "	55 "
Свинец	— "	24 "	30 "	— "	— "	— "
Алюминий	3 "	40 "	24 "	5 "	— "	5 "
Антимоний	— "	— "	— "	5 "	— "	2 "

Как только эти металлы расплавятся, добавляют на каждые 100 г припоя 2,5 грамма стеарина, или же сплав охлаждают и смешивают с нашатырем. Перед пайкой металл очищают напильником и наждачным полотном, нагревают лампой или горелкой, покрывают припоем и разглаживают последний латунной палочкой. После этого спаиваемые части соединяют друг с другом и энергично нагревают до плавления.

При пайке свинцом и оловом спаиваемые поверхности смазывают предварительно кислотой, а иногда их предварительно залуживают. Если части хорошо прилегают друг к другу, спайку производят паяльником (рис. 436), нагретым докрасна в печи; далее нагревают спаиваемые части спиртовой или бензиновой паяльной лампой. Прекрасными инструментами являются бензиновые паяльные лампы и паяльники Аша (Asche) (рис. 437). Нагрев производят также газовой горелкой Р. Фуйлю (рис. 438), при чем пайка медно-цинковым припоем не требует предварительного нагрева металла в печи или в кузнечном горне, как, например, при пайке труб. Для пайки железного или медного

изделия тщательно заглаживают соединяемые части напильником, протравливают кислотой и покрывают бурой или паяльным флюсом, после чего нагревают сильным пламенем до ярко-красного каления.

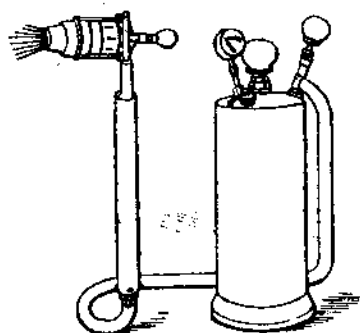


Рис. 434.

Наложённый в значительном количестве припой расплавляется и заполняет промежутки, после чего изделие медленно охлаждают и, наконец, отскабливают излишний металл и зачищают. При применении вольтовой дуги спайка производится быстро, так как получается местное плавление. В этом случае надо передвигать угли по соединяемым изделиям.

Бенардос¹⁾ построил электрический паяльник (рис. 441), нагревающий соединяемые части и расплавляющий металл в чашечке, откуда он протекает в шов между соединяемыми частями. С аппаратом, кроме того, соединен молоток, действующий

по мере перемещения системы, чтобы достать различные точки шва обоих листов *P*. Молоток *Q* приводится в действие вручную

или механически. Для плавления металла требуется ток низкого напряжения, но большой силы; регулирование производится реостатом. Чашечка (рис. 440) состоит из огнеупорного материала и имеет перегородку *E* из такого же материала, не проводящего электричества. Таким образом получают два отделения, каждое из которых покрыто внутри металлической пластинкой *LL'*. Эти пластинки снабжены зажимами *ll'* для присоединения электрических проводов, идущих от источника тока. При замкнутой цепи ток поступает через зажим *l* и положительную пластинку *L*, проходит через металл, помещающийся в отделении, затем идет в металл другого отделения и через отрицательную пластинку *L'* и зажим *l'* возвращается к источнику энергий. Сопротивление, встречаемое током в нижней части перегородки *E*, вызывает плавление металла, который вытекает через отверстие *O*. Этим процессом можно успешно пользоваться

для заполнения свищей, раковин и трещин в металле, а также для сварки швов тонкостенных сосудов, как, например, бочек, а также спиртовых, масляных и керосиновых резервуаров.

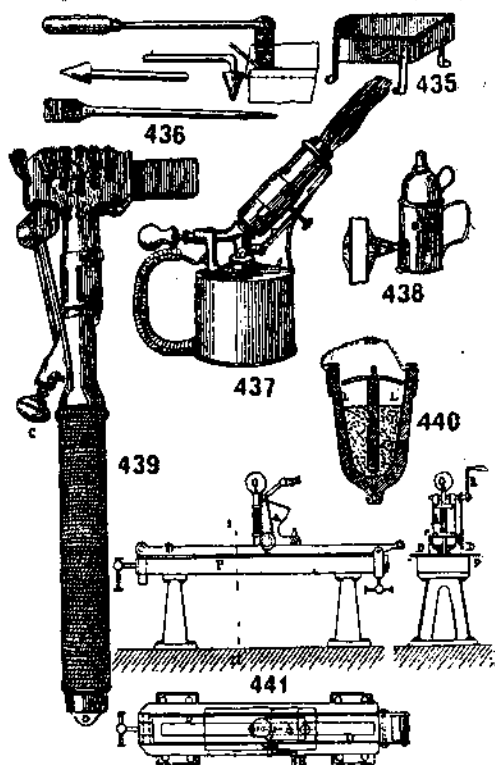


Рис. 435—441.

¹⁾ Первый патент 9 января 1892 г.

IX. Пробивка отверстий, отрезка, насечка и накатка.

При ковке различных изделий часто приходится проделывать в них отверстия без отделения металла. Для этого пользуются бородком, штампом или пуансоном, сообщая ему прямолинейное движение молотом или прессом.

Пуансон (рис. 442) делается стальным, конической или иной формы, с плоским или несколько закругленным концом, чтобы он мог высаживать металл вокруг отверстия по мере своего углубления в изделие.

Изделие в конце или в начале операции помещают на подкладку с отверстием. Диаметр конца пуансона делается меньше окончательного диаметра отверстия. Сперва металл пробивают не больше как на половину толщины, после чего изделие поворачивают и пробивают также до половины толщины с противоположной стороны.

При этом происходит боковая высадка металла, вследствие чего ширина поковки увеличивается. В середине отверстия получается тонкая перемычка, которую вслед затем выдавливают сквозным проходом пуансона, расширяющим отверстие до окончательного диаметра. При значительном диаметре отверстия операция производится несколькими пуансонами постепенно увеличивающегося диаметра. Работа

выполняется под прессом или молотом, при чем часто пользуются матрицами (рис. 444). Для пробивки квадратного или прямоугольного отверстия с закругленными углами избежание трещин углами пользуются пуансонами соответствующей формы и заканчивают работу на оправках, прогоняя последние под сильным давлением, (рис. 445).

Высадка металла вызывает боковые деформации, которые или оставляют, если они предусмотрены заранее, или устраняют. Во многих случаях при изготовлении деталей машин предпочитают отковывать изделие сплошным и затем просверливать отверстия.

Наковальня часто делается с несколькими отверстиями (рис. 446).

Опыты над непрерывным углублением цилиндрического пуансона в ковкий металл, как, например, в свинец показывают, что усилие возрастает в начальном периоде операции, т.-е. в течение короткого промежутка времени, когда происходит сжатие металла. После этого, если толщина изделия значительна, усилие остается приблизительно постоянным. Наконец, если металл против пуансона лежит на какой-

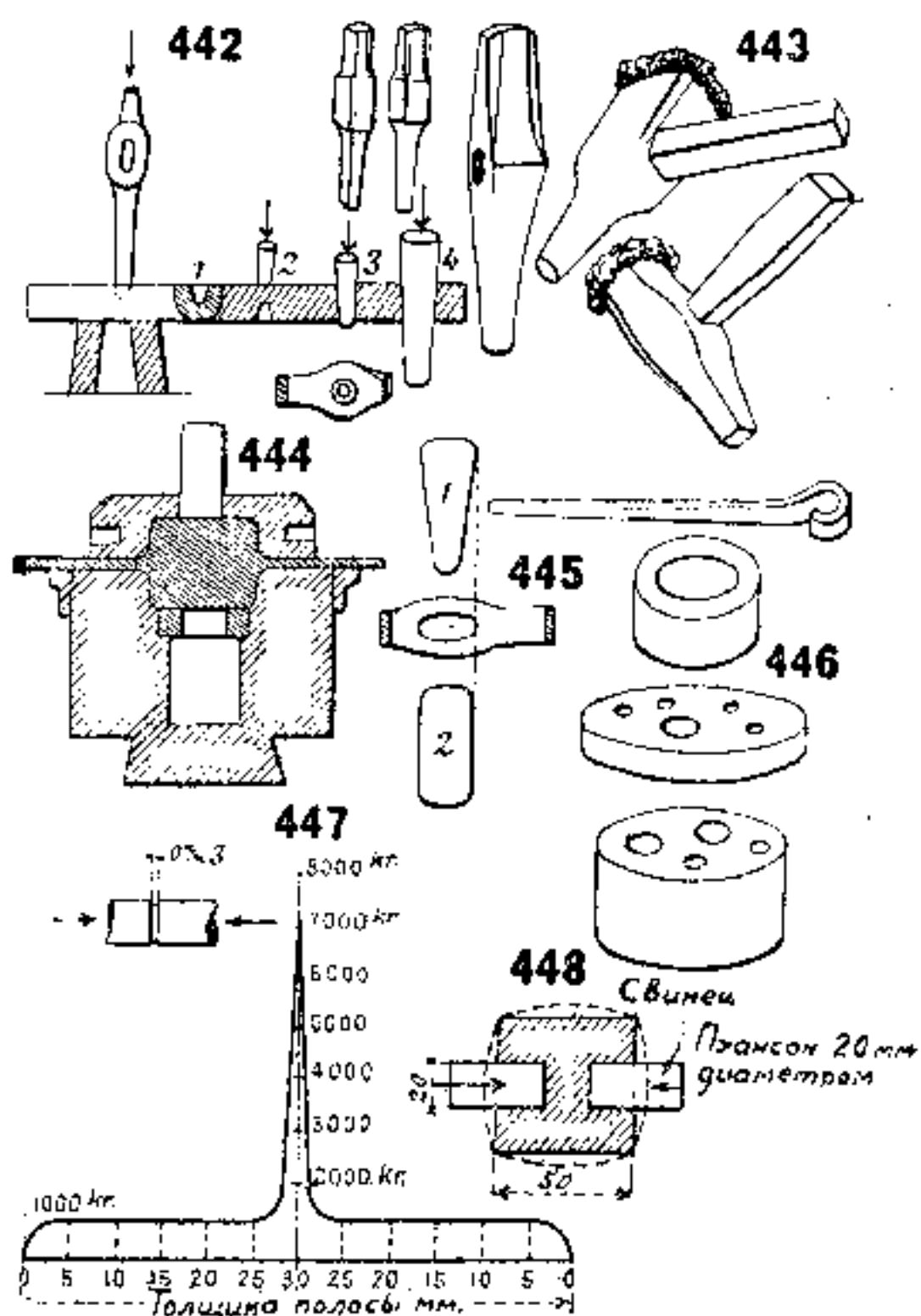


Рис. 442—448.

нибудь сплошной опоре без отверстия, то усилие принимает очень большое значение.

Усилие, наоборот, уменьшается, если поковка лежит на подставке с отверстием против пуансона. При пробивке отверстия двумя противоположно направленными пуансонами (рис. 448) последние проникают одновременно, приблизительно на равную глубину. Давление быстро возрастает, когда расстояние между пуансонами уменьшается до нескольких миллиметров, как то можно видеть на диаграмме (рис. 447). Таким образом, при пробивке железа или стали в матрицах, как, например, при пробивке отверстий во втулках или гайках, не следует слишком близко сводить между собой эти два пуансона.

Усилие, потребное для углубления пуансона — величина очень переменная. Оно зависит от того, высаживается ли металл поперечно или продольно, могут ли его поверхности свободно расширяться или они заключены в матрицы, как мы уже видели в процессах высадки. Усилие, кроме того, зависит от того, придается ли вращательное движение пуансону или нет.

Металл сильно высаживается в стороны, когда ширина поковки незначительна сравнительно с диаметром пуансона. Если же поперечное сечение поковки очень велико сравнительно с диаметром пуансона, то металл, мало расширяясь в стороны, распространяется в направлении оси пуансона, образуя интересное углубление у входного отверстия ¹⁾.

Углубление стального пуансона в различные металлы зависит от их характера, формы и относительных размеров изделий, а также от формы конца пуансона, который делается плоским, коническим или гиперболическим. Рассмотрим простейший случай, имеющий место при относительно большой массе ковкого металла, когда усилие в течение главного периода операции изменяется незначительно.

Обозначая через p среднее давление на квадратный миллиметр сечения пуансона диаметром d , получим усилие углубления

$$P = \frac{\pi d^2}{4} p.$$

Затрачиваемая для углубления пуансона на глубину h энергия равняется:

$$W = \frac{\pi d^3 h}{4} p = Vp,$$

(где V — сдвинутый объем металла).

Работа пропорциональна сдвинутому объему, среднему давлению и коэффициенту сопротивления металла. Для свинца этот коэффициент равняется от 3 до 5 кг/мм². Среднее усилие углубления для меди в холодном состоянии колеблется между 80 и 100 килограммами на квадратный миллиметр. Для железа при разных температурах опыты показывают, что сопротивление углублению пуансона изменяется следующим образом:

Температура	0°	400	600°	800°	1000°	1200°	1400°
Сопротивление кг/мм ² . .	120—140	90—100	60—80	30—40	20—25	10—15	5—6
Усилия проникновения при твердойлитей стали в кг/мм ²	240—300	200—260	140—170	90—110	60—70	30—40	—

¹⁾ К сожалению, мы не можем привести здесь этих опытов, ни дать очень интересных рисунков деформированных образцов.

Диаграмма (рис. 449) дает изменения давления или усилия углубления стального пуансона диаметром 20 мм в свинцовые и медные цилиндры диаметром 60 мм и высотой 38 мм (рис. 450).

Можно видеть, что для отожженной меди, взятой из прокатанной и вытянутой затем полосы, усилие углубления пуансона быстро возрастает в первый период операции, соответствующий углублению в 2 мм.

Усилие затем возрастает медленнее почти до самого конца операции, когда снова очень резко возрастает.

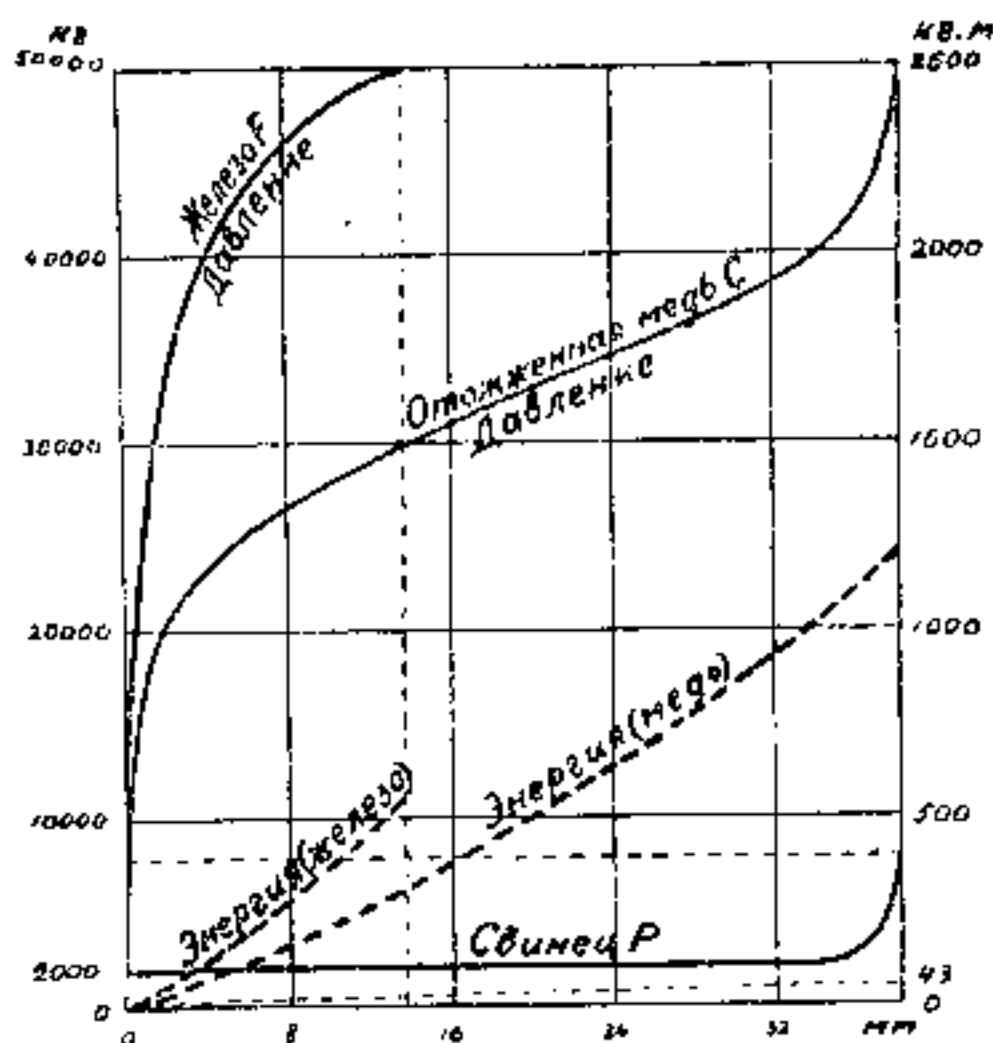


Рис. 449.

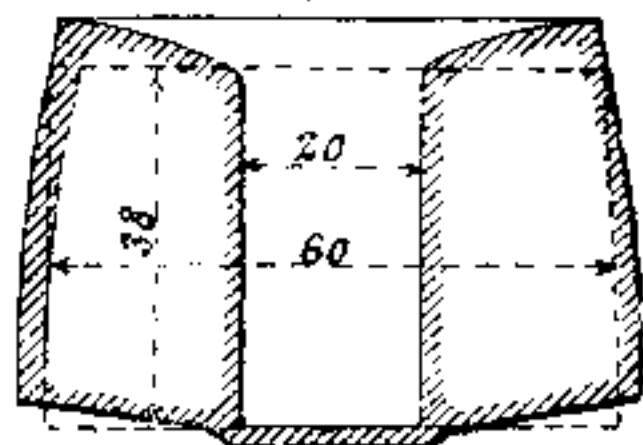


Рис. 450.

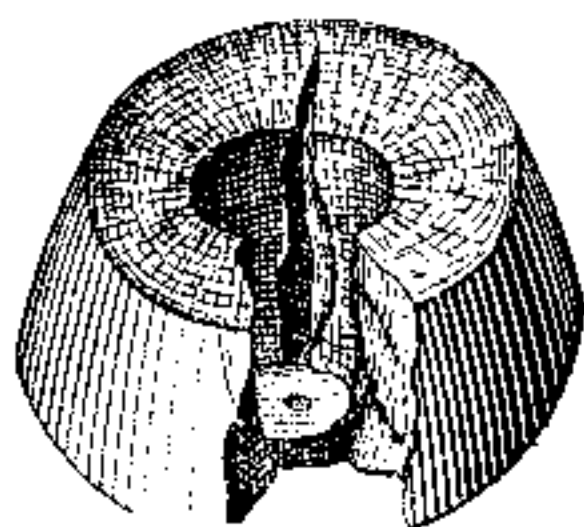


Рис. 451.

Кривая *F* для железа сходна с предыдущей кривой *C*, но лежит много выше ее и дает среднее усилие от 150 до 160 килограммов на квадратный миллиметр.

Чтобы при этих опытах пуансон мог пройти через всю толщину цилиндра, нужно чтобы металл был очень однородным.

Чаще всего цилиндры разрываются по образующей (рис. 451). Сравнение кривых для свинца и других металлов показывает, какое влияние на усилие проникновения оказывают ковкость и малое сопротивление металла.

Отсюда видно, что пробивание металла, обладающего большим сопротивлением, пуансоном возможно только при высоких температурах.

Отверстия в тонких поковках в большинстве случаев можно успешно проделывать вольтовой дугой или автогенным процессом.

Отрезка зубилом и ножницами.

Резка кованных изделий обычно является вспомогательной операцией. Она применяется для удаления избытка металла, для расщепления концов полос и брусков вдоль перед последующей разводкой, для придания изделию определенной длины, для выравнивания торцов и для поперечной разрезки полосы на короткие куски. Для этого пользуются различными инструментами, как-то: зубилами разного рода (рис. 452). По зубилу наносят удары ручным или лобовым молотом, или падающей бабой. Для холодной резки металла достаточно над-

рубить его, после чего несколькими ударами молотка можно отломать намеченные части. Так, например, если стальной брусок в 100 мм в стороне надрезать под молотом одним или двумя ударами зубила, то, положив его на две подкладки надрезом книзу, можно легко сломать ударом 3-тонной бабы, падающей с высоты в 0,60 метра. Для разрезки броневых плит, в них прорезают с обеих сторон на строгательном станке по назу, после чего ломают под молотом.

Разрезку чаще всего ведут вгорячую, независимо от того, режут ли поперечно или продольно или же вырезают отверстия. Для вырезания закруглений пользуются особыми зубилами с наклонным режущим краем. Угол наклона инструмента делается от 15° до 60° , в зависимости от твердости металла.

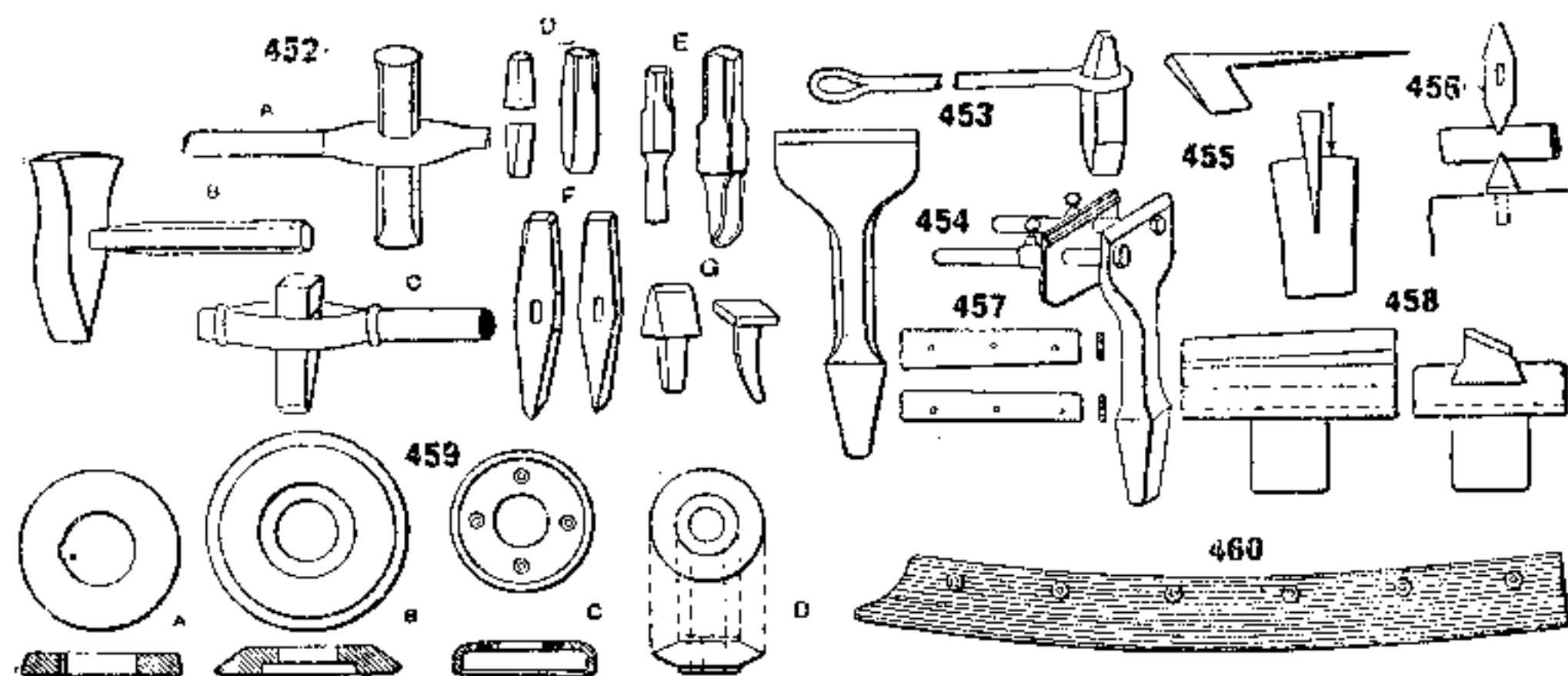


Рис. 452 -460.

Для разрезки изделия по высоте пользуются ножом (рис. 455), а чтобы разрез не мог распространиться далее назначенного предела перед прорезкой проделывают отверстие при желто-оранжевом калинии. Нож должен быть очень острым с углом резания около 10° . Операция производится быстро. При больших размерах поковки пользуются молотом с падающей бабой. Разрезку производят также, помещая изделие на зубило, укрепленное в наковальне; в этом случае удары наносят по поковке.

Точно так же пользуются зубилами, изображенными на рис. 456. Таким образом получается более сильный эффект, так как поковка режется между ними как бы ножницами, при чем реакция вызывает срезание, а не сжатие.

На рис. 458 изображен нож, установленный на наковальне ковочной машины Ридера (Ryder).

Для резания тонкого металла пользуются зубилом с длинной режущей кромкой, укрепляя его на верстаке или заколачивая в чурбан, а удары наносят деревянной колотушкой.

Иногда зубило снабжают упоркой (рис. 454), допускающей точную обрезку полосы любой длины.

Резание ножницами. Для отрезки и разрезки листов и полос успешно пользуются ножницами. Ножницы делаются или рычажные, или гильотинные с прямыми или изогнутыми лезвиями (рис. 457, 460); им придают колебательное или прямолинейное движение. Точно также применяют циркулярные ножи (рис. 459) с вращательным движением.

Рычажные ножницы. Ручные рычажные ножницы (рис. 461) применяются для резки тонких металлических листов. Другого типа рычажные ножницы, укрепленные к столу, изображены на рис. 462. Теми и другими ножницами пользуются только при небольшом масштабе производства.

В настоящее время для резки как толстых, так и тонких листов, в массовых производствах пользуются исключительно механическими ножницами.

На рис. 463—466 изображено устройство обыкновенных механических ножниц. Рычаг *L* приводится в действие эксцентриком *E*, вал которого вращается зубчатой передачей от шкива. Эти ножницы пригодны, например, для обрезки брусков, полученных путем вытяжки пакетов железа. Длину полос можно регулировать упоркой. При небольшой толщине полос и брусков до сих пор еще пользуются старинными моделями механических ножниц, одни из которых приведены на рис. 467 и 468.

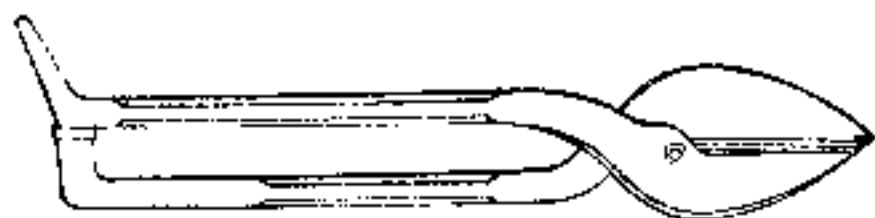


Рис. 461.

В ножницах Бухея (Bouhey) (рис. 468) неподвижный нож укреплен к станине, а подвижный — к ползуну, приводимому в движение рычагом *L*. Станина изогнута, чтобы можно было подавать полосу насквозь. Такое устройство требует расположения ножей параллельно приводным валам.

Параллельные или гильотинные ножницы. Параллельные или так называемые гильотинные ножницы имеют обычно неподвижный горизонтальный нож и подвижный нож с косою режущей кромкой для резания плоских полос. Если требуется резать в один прием очень широкие листы, лезвие ножа придают симметрично изогнутую форму.

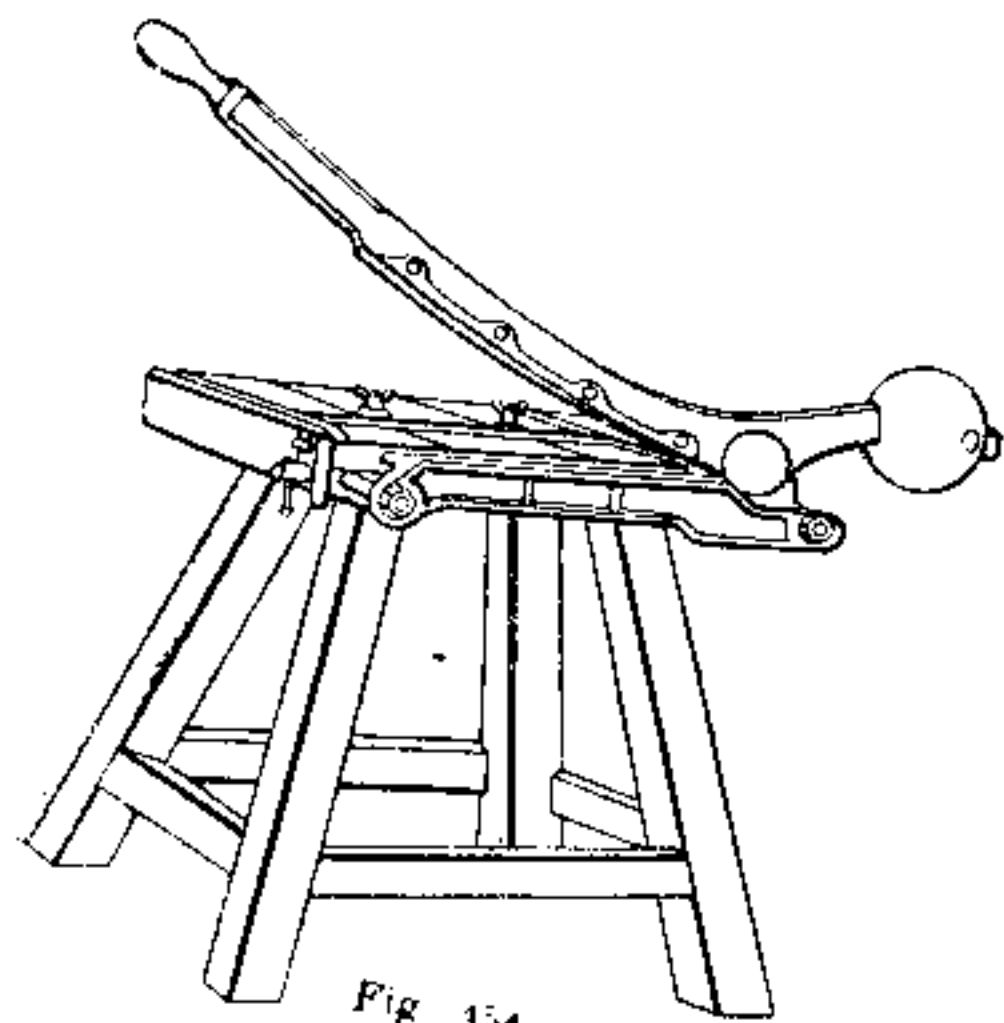


Fig 154

Рис. 462.

Ползун с укрепленным к нему подвижным ножом, образующим гильотину, движется в направляющих с приспособлением для регулирования их при изнашивании, чем достигаются правильный ход ножа и гладкий ровный обрез.

Как то видно на рис. 469 и 470, ползун приводится в движение механически, посредством шатуна и эксцентрика, составляющего одно целое с валом, приводимым во вращение шестернями.

Для пуска в ход и остановки ножниц устроено фрикционное сцепление.

На рис. 469 и 470 изображены ножницы для отрезки широких полос, а на рисунках 471 и 472 ножницы с длинными ножами, при чем подвижной нож имеет вогнутое лезвие, врезается в лист с обоих концов и постепенно режет к середине. Таким образом достигается лучший обрез.

Для резки круглых прутьев (рис. 473), в неподвижном ноже устраивают несколько отверстий разного диаметра. Прут или прутья пропускают через эти отверстия и упирают в поперечину, устанавли-

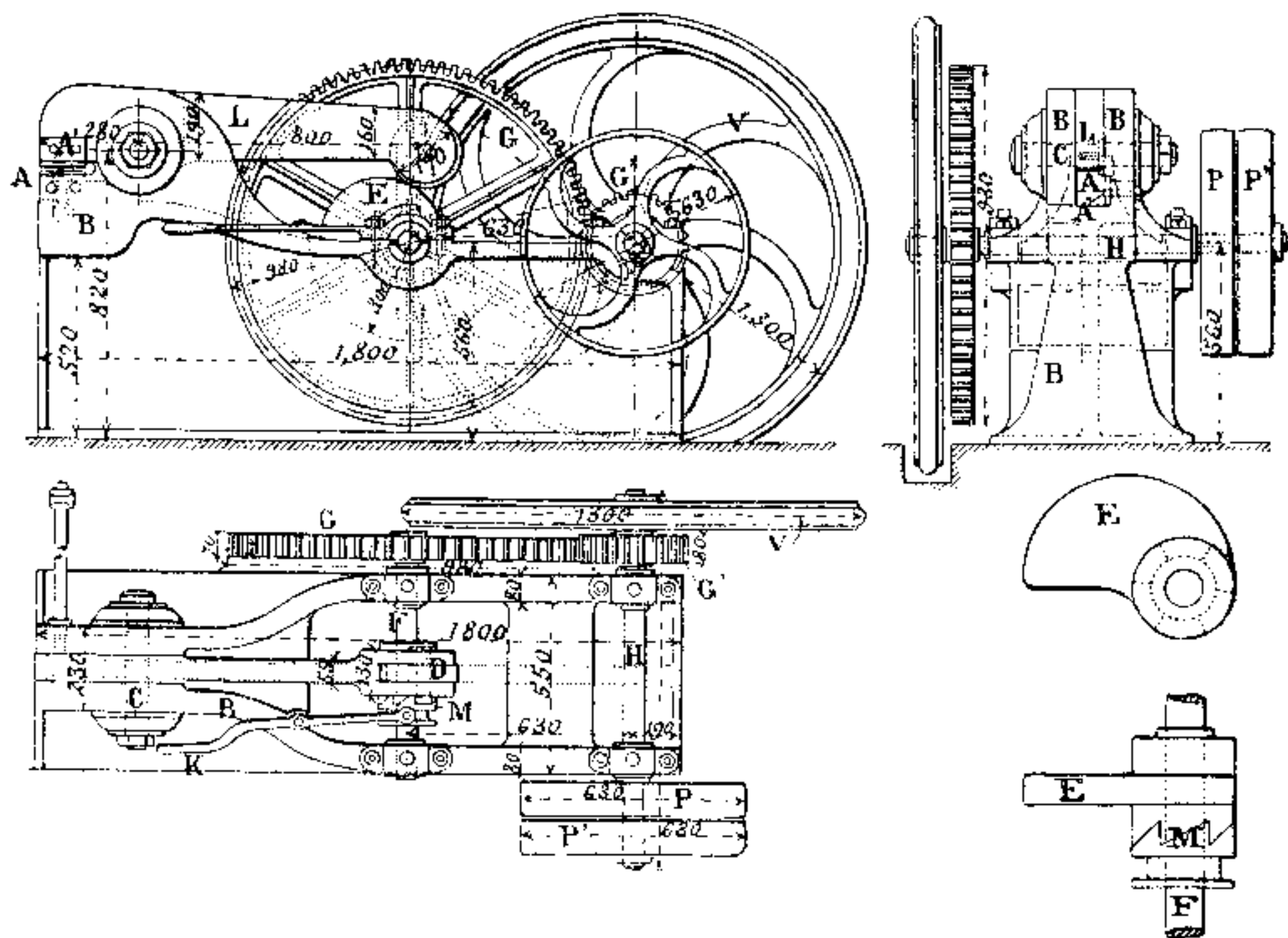


Рис. 463—466.

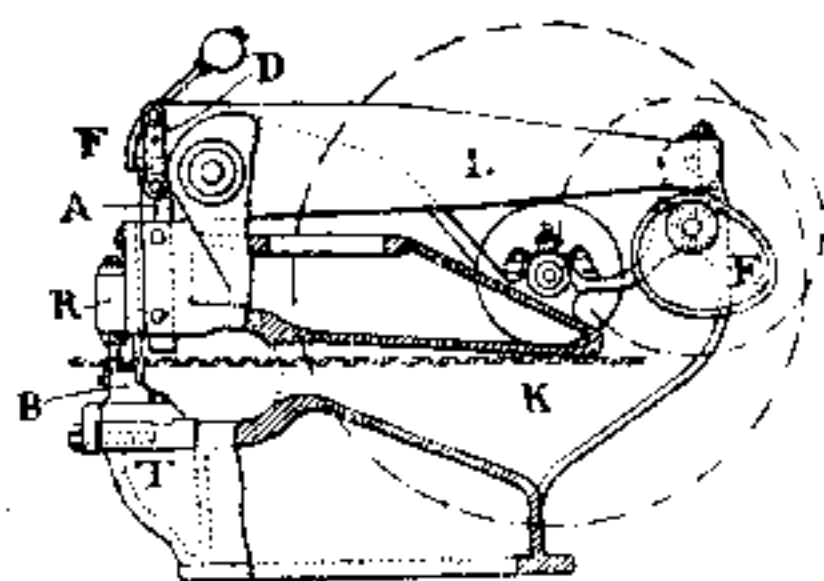
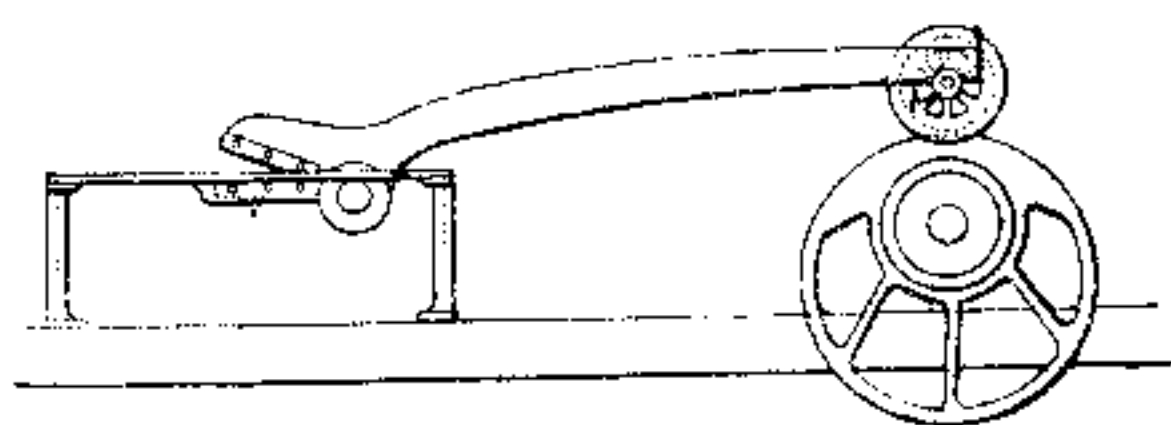


Рис. 467 -- 468.

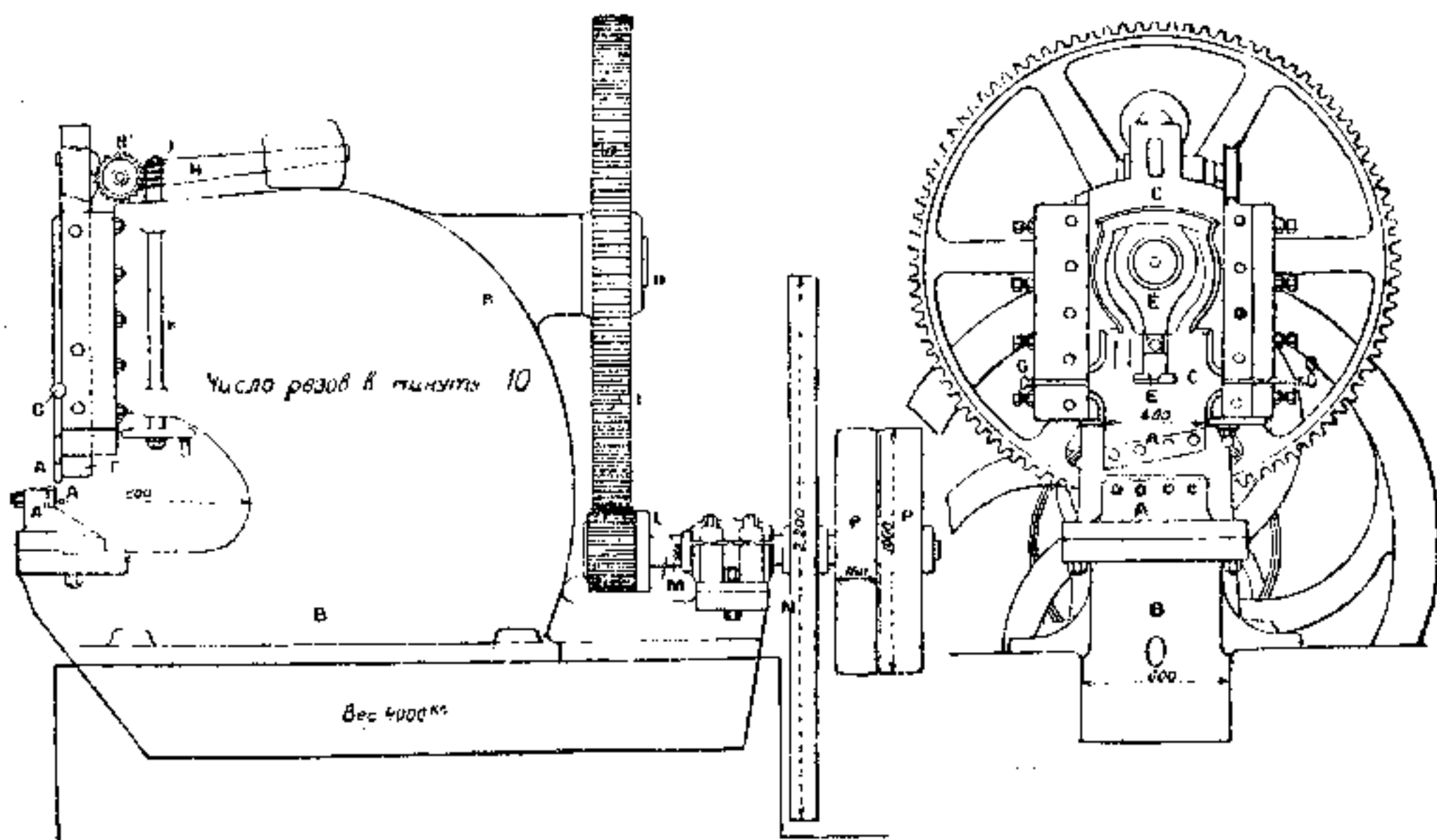


Рис. 469—470.

вливаемую на длину резки. Ножницы (рис. 473) применяются при производстве болтов, заклепок и шпилек, при резке прутьев для

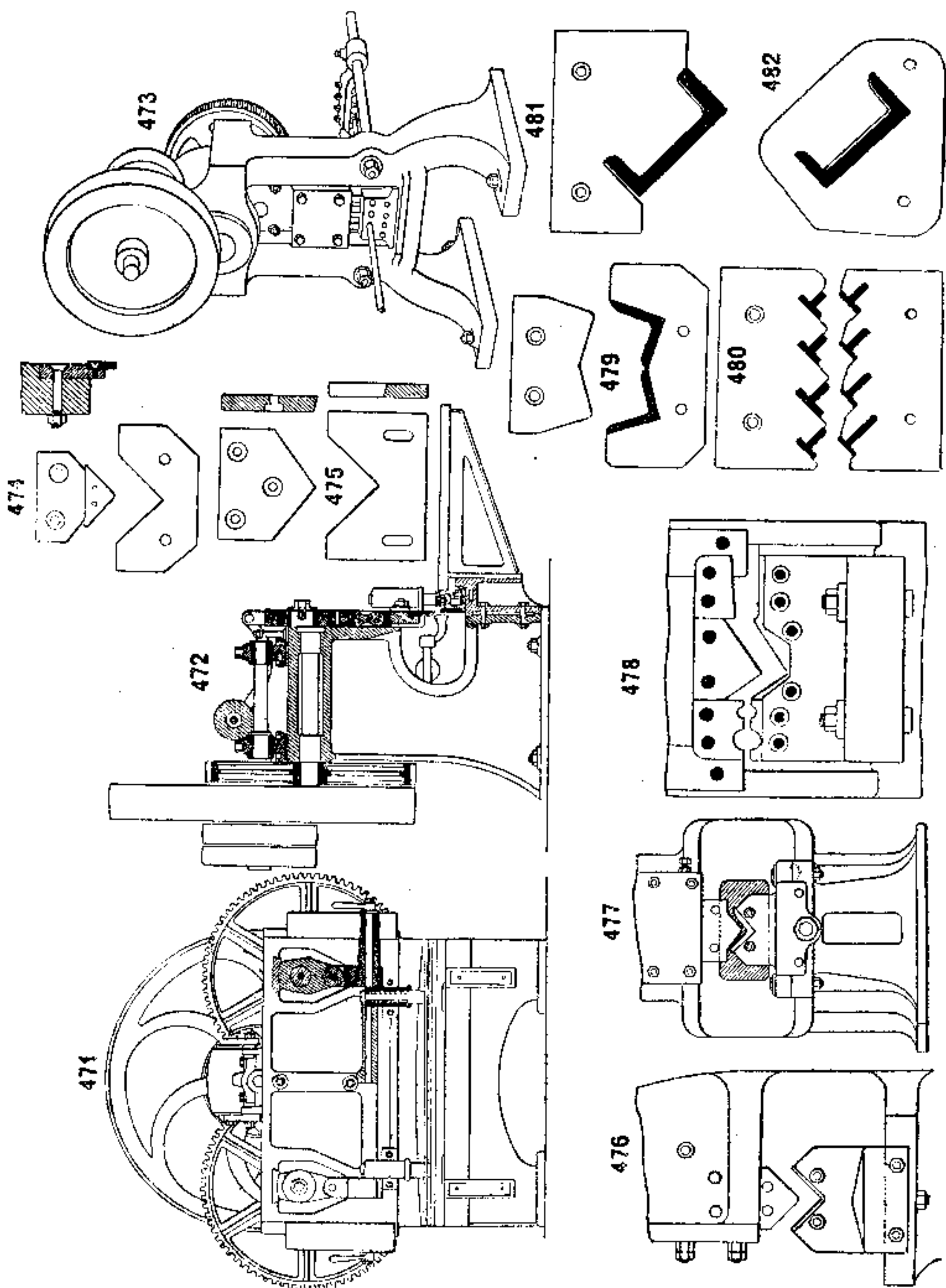
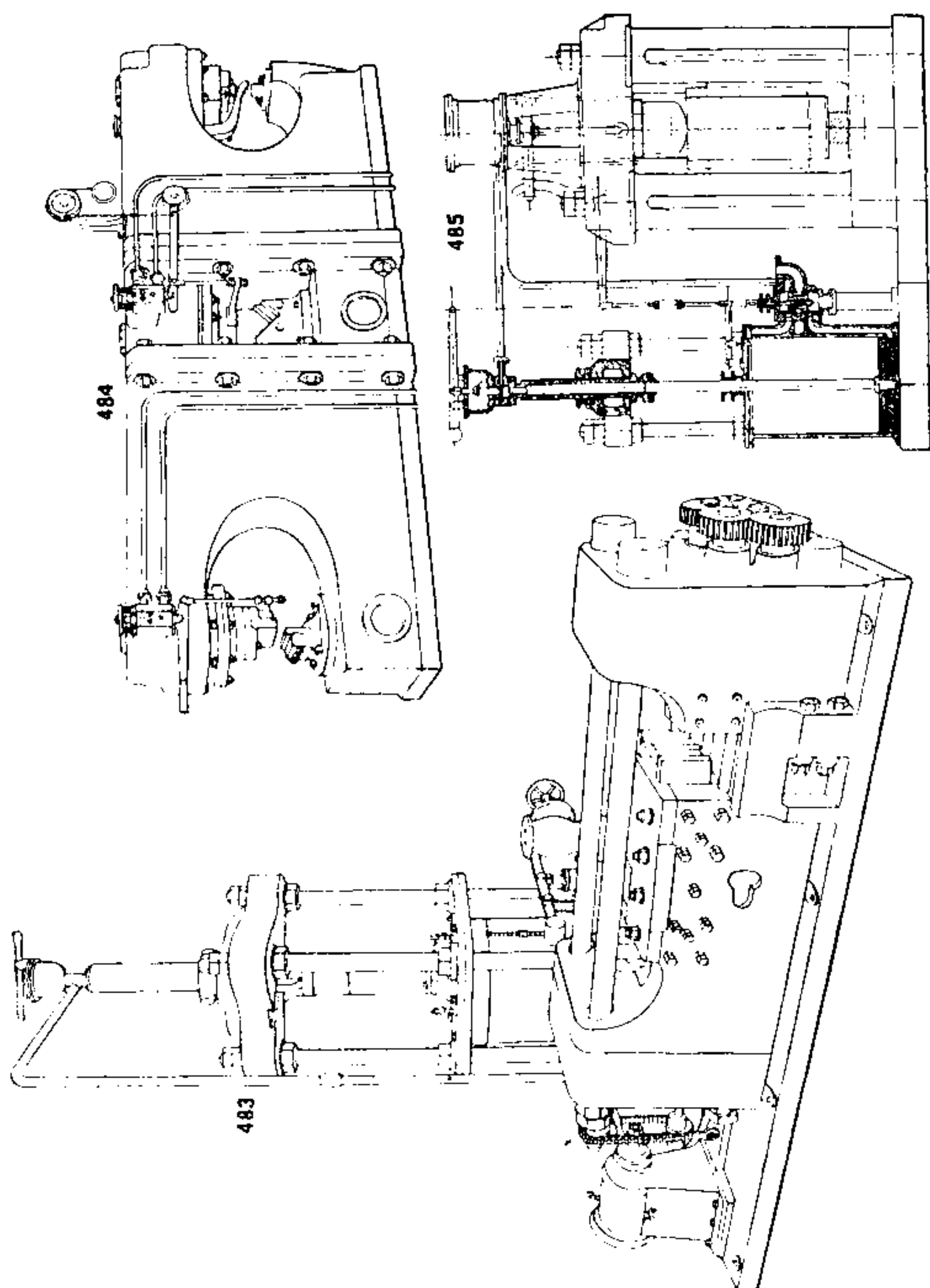


Рис. 471—482.

изготовления звеньев цепей и вообще в тех случаях, когда производство носит массовый характер.

Для резки фасонных полос ножам придают профиль возможно близкий к профилю полосы, так чтобы они касались его сразу в воз-

можно большем количестве точек и резали за один раз. На рисунках 479—482 изображено несколько таких ножей различного типа.



Ножницы могут приводиться в действие и гидравлически (рис. 484). Этот способ привода особенно выгоден для машин, работающих периодически и развивающих большие усилия в течение очень коротких промежутков времени. При гидравлическом приводе отпадают такие массивные движущие части, как маховики и зубчатые

передачи. Вследствие этого не приходится опасаться ударов, вызывающих поломки частей машины при резании слишком толстого или слишком остывшего изделия. Гидравлические ножницы не допускают перегрузок. Действие их ограничивается определенным максимальным давлением. Для холодной или горячей резки стальных отливок и стальных болванок в 400×400 мм, пользуются специальными вертикальными или горизонтальными ножницами.

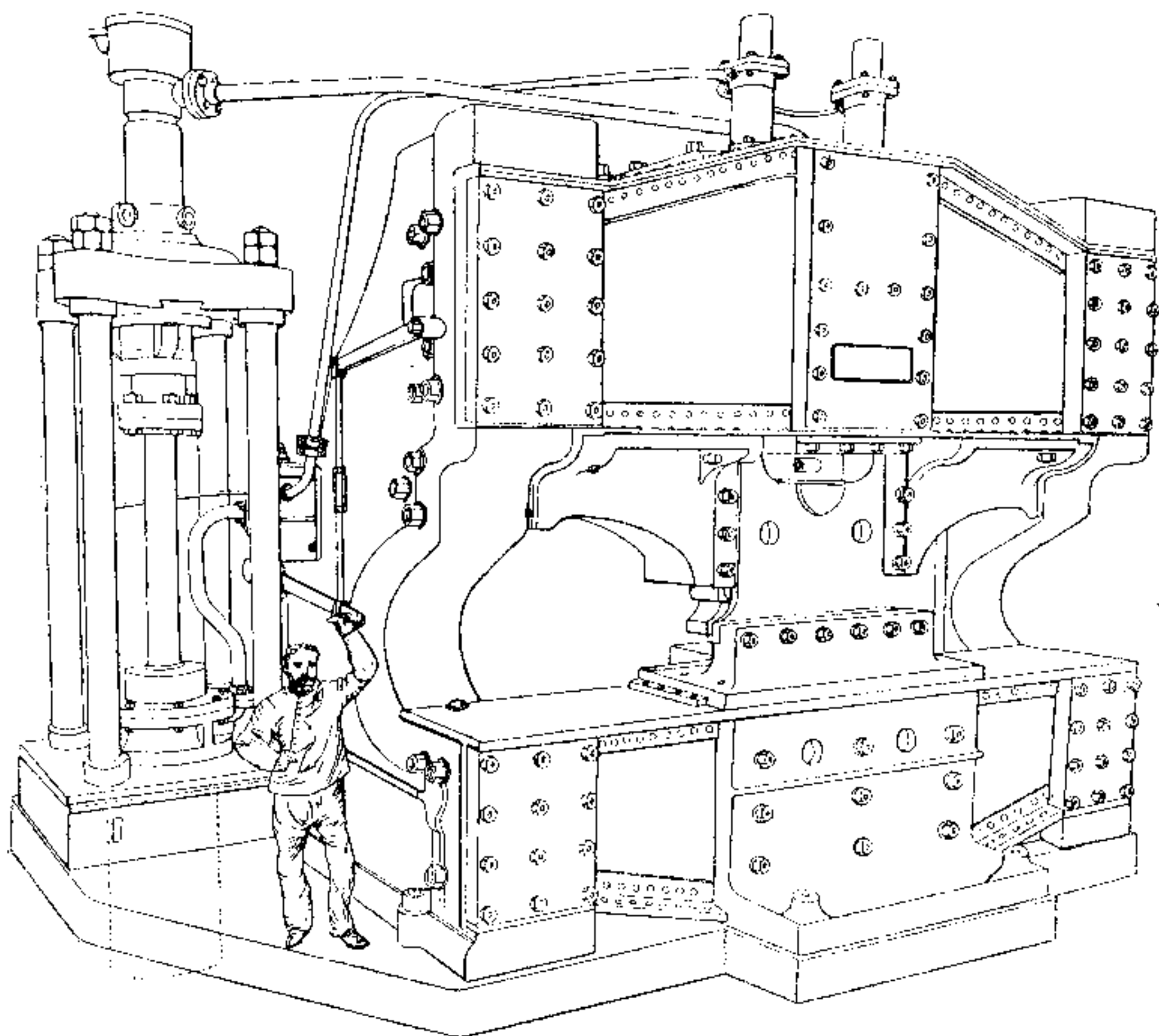


Рис. 486.

На рис. 483 и 485 изображены разные модели ножниц завода Делаттр и К^о с паровым компрессором, скомбинированным с гидравлическим компрессором, имеющим переменный объем жидкости и позволяющим регулировать полезную длину хода машины в зависимости от толщины обрезаемого изделия. Машина снабжена специальным приспособлением для избежания ударов в тот момент, когда сопротивление внезапно прекращается в конце резки.

Машина (рис. 486) режет в холодную стальные листы толщиной до 60 мм и до 2 м шириной. Ножам придают длину или равную всей длине обрезаемого листа, чтобы можно было резать последний в один прием, или меньшую длину для резания в несколько приемов. Подъем подвижной части машины после отреза в ее исходное положение производится паром.

Циркулярные ножницы.

В этих ножницах применяются цилиндрические или слегка конические диски или ножи с двойным конусом (рис. 487 и 488). Обыкновенные цилиндрические ножи после нескольких заточек приходится или бросать или переносить на меньшую машину. Поэтому предпочитают пользоваться чашкообразными ножами, которые затачивают

сторца, а потому они дольше сохраняют свой первоначальный диаметр (рис. 489).

Оба ножа несколько заходят друг за друга, как показано на рис. 487. Вследствие этого при вращении в противоположных направлениях ножи захватывают полосу или лист и разрезают его в плоскости режущих кромок.

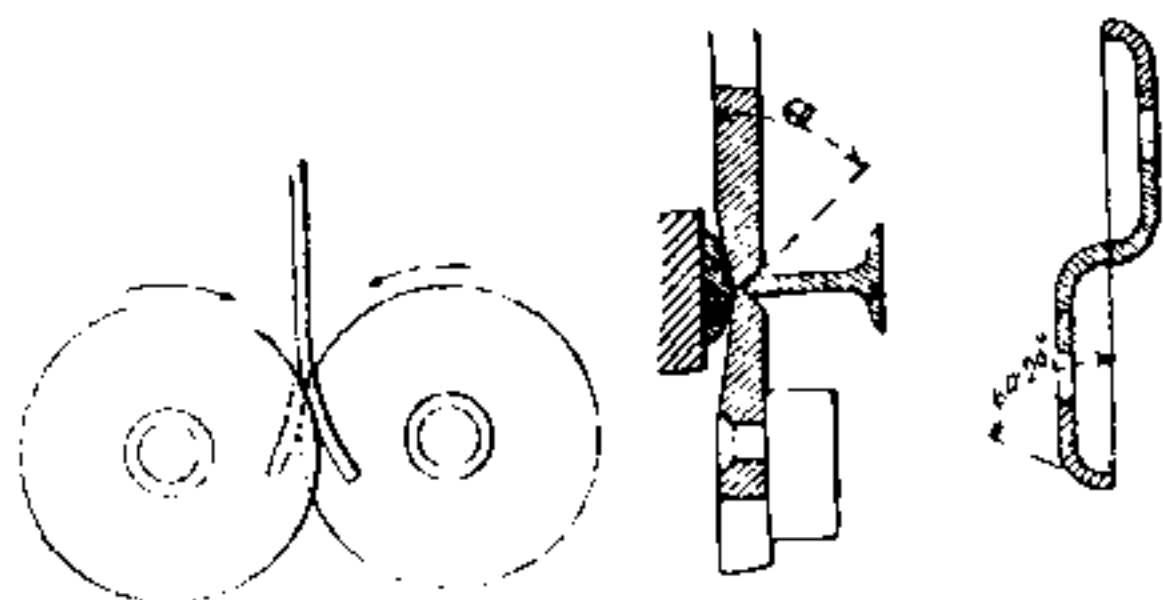


Рис. 487- 489.

Циркулярные ножницы особенно применимы для вырезания из листов заготовок различной формы. Непрерывность резания на небольшое протяжение позволяет направлять произвольно движение листов и вырезать из них заготовки любой кривизны.

Эти ножницы в настоящее время употребляют для резки листов всякой толщины. Тонкие листы режут в один пропуск, толстые же в несколько пропусков. В последнем случае пользуются ножами

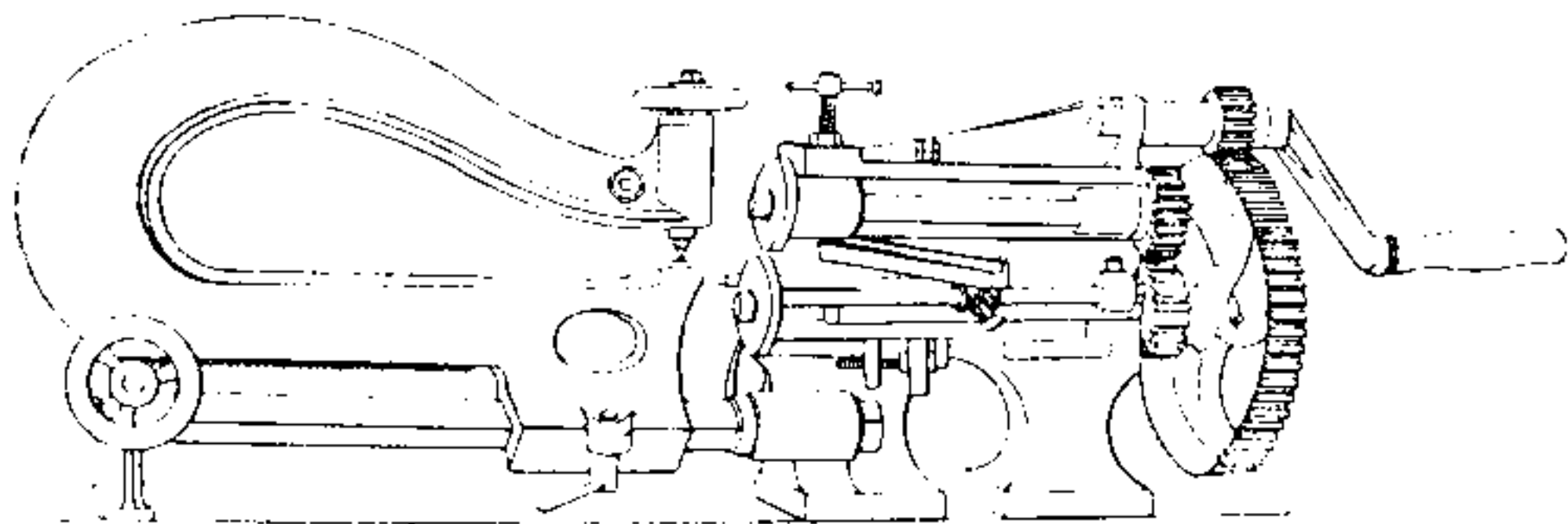


Рис. 490.

с двойным конусом. Эти ножи устанавливаются на осях, которые можно сближать между собой. Такие ножи не заходят друг за друга, как то видно на рис. 488.

На рис. 490—492 изображены обыкновенные циркулярные ножницы, приводимые в действие вручную или механически и снабженные упорами и направляющими для резки прямых полос или дисков определенного диаметра. В этом последнем случае лист устанавливается между центрами (рис. 490), в точности параллельными вертикальной оси, проходящей через точку касания лезвий обеих ножей.

Машина, изображенная на рис. 493, применяется для разрезки длинных полос, для вырезания больших дисков, а также для отрезки латушной или медной проволоки. Возможна также и спиральная разрезка; при этом суппорт С. удерживающий лист, равномерно подается

вперед. Ширина полосы регулируется роликами, установленными позади ножей. В этой машине направляющие расположены таким образом, что усиливают обе станины и предупреждают всякое изгибание, могущее вредно отразиться на резании.

Ножницы (рис. 493—498) имеют ножи с двойным конусом и предназначаются для резки толстого металла в холодном или горячем

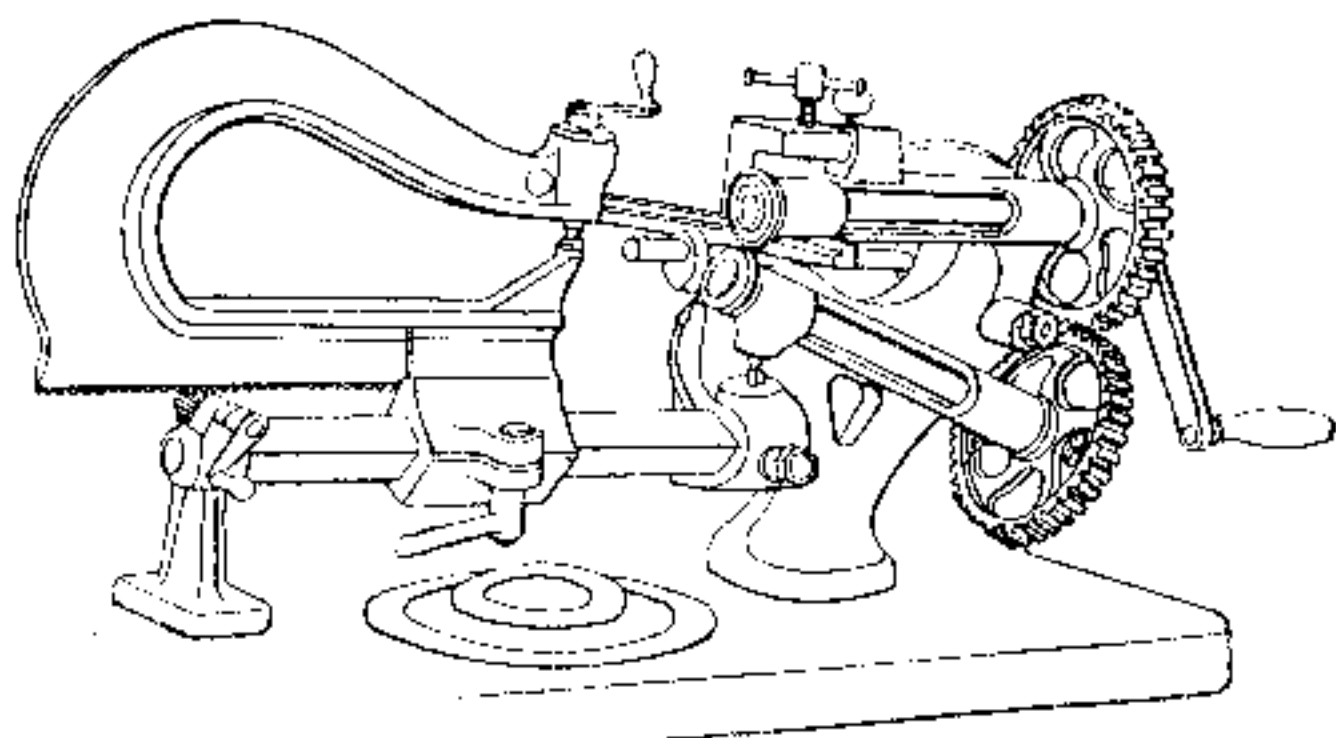


Рис. 491.

состоянии в несколько проходов как, например, котельных листов и броневых плит толщиной в 60 мм и больше.

Нижний нож *A* (рис. 493) укреплен неподвижно на валу *B*, не имеющем вертикального перемещения.

Глубина резания регулируется вертикальным передвижением ножа *A'*, монтированного на валу *B'*. Последний можно поднимать

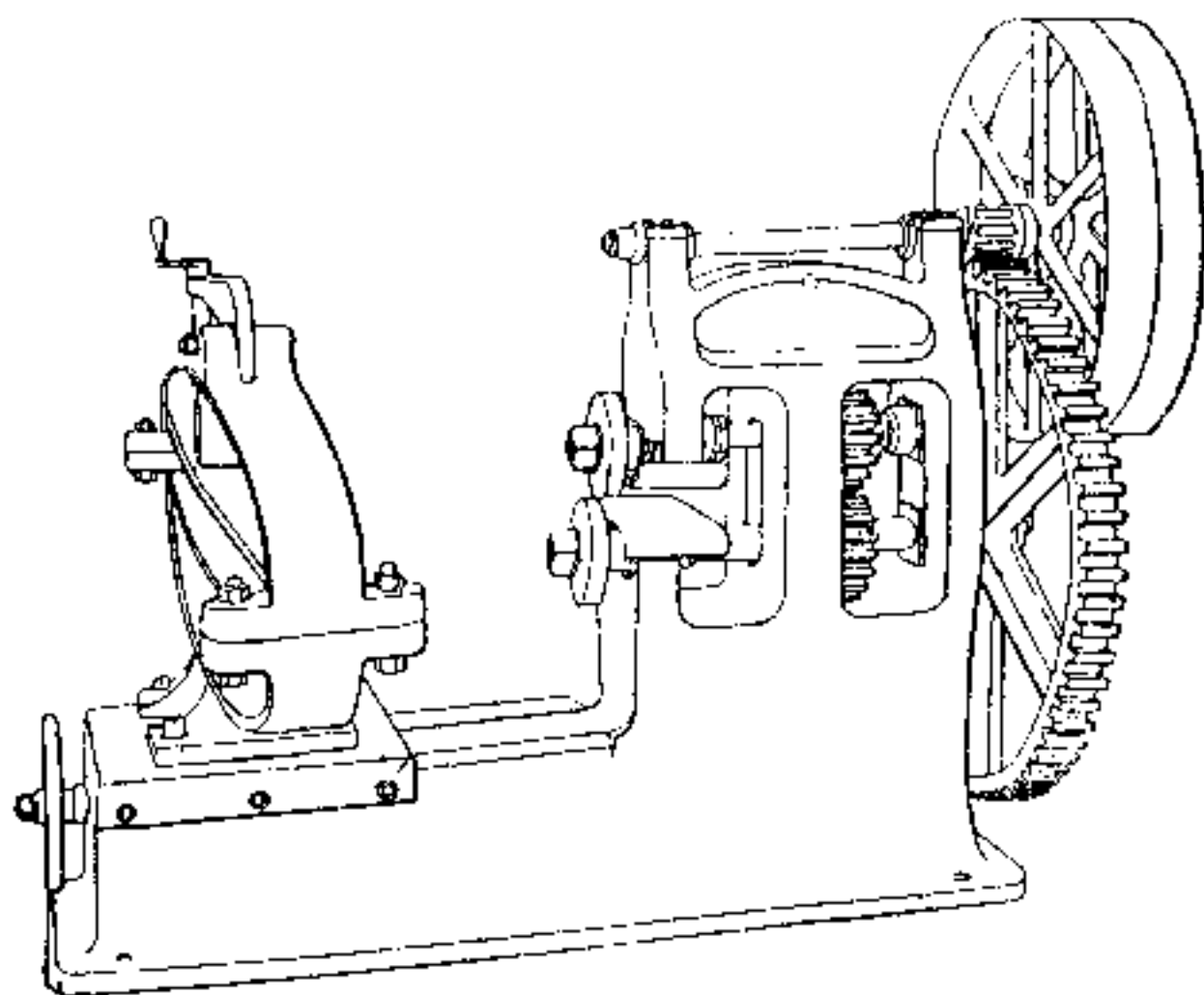


Рис. 492.

или опускать соответствующим механизмом. Механизм этот состоит из шпинделя *E*, проходящего в винте *F*, винт ввертывается в гайку *G*, укрепленную совершенно неподвижно в головке *D* станины. При вращении шестерен *H* и *H'* вращается винт *F*. Шестерню *H'*, установленную на валу *I*, вращают маховичком и тем изменяют положение ножа *A'*, регулируя таким образом расстояние между ножами.

Вал B' соединен с коротким валом B_1 карданным шарниром. Привод состоит из двух пар конических шестерен KK' и MM' и их

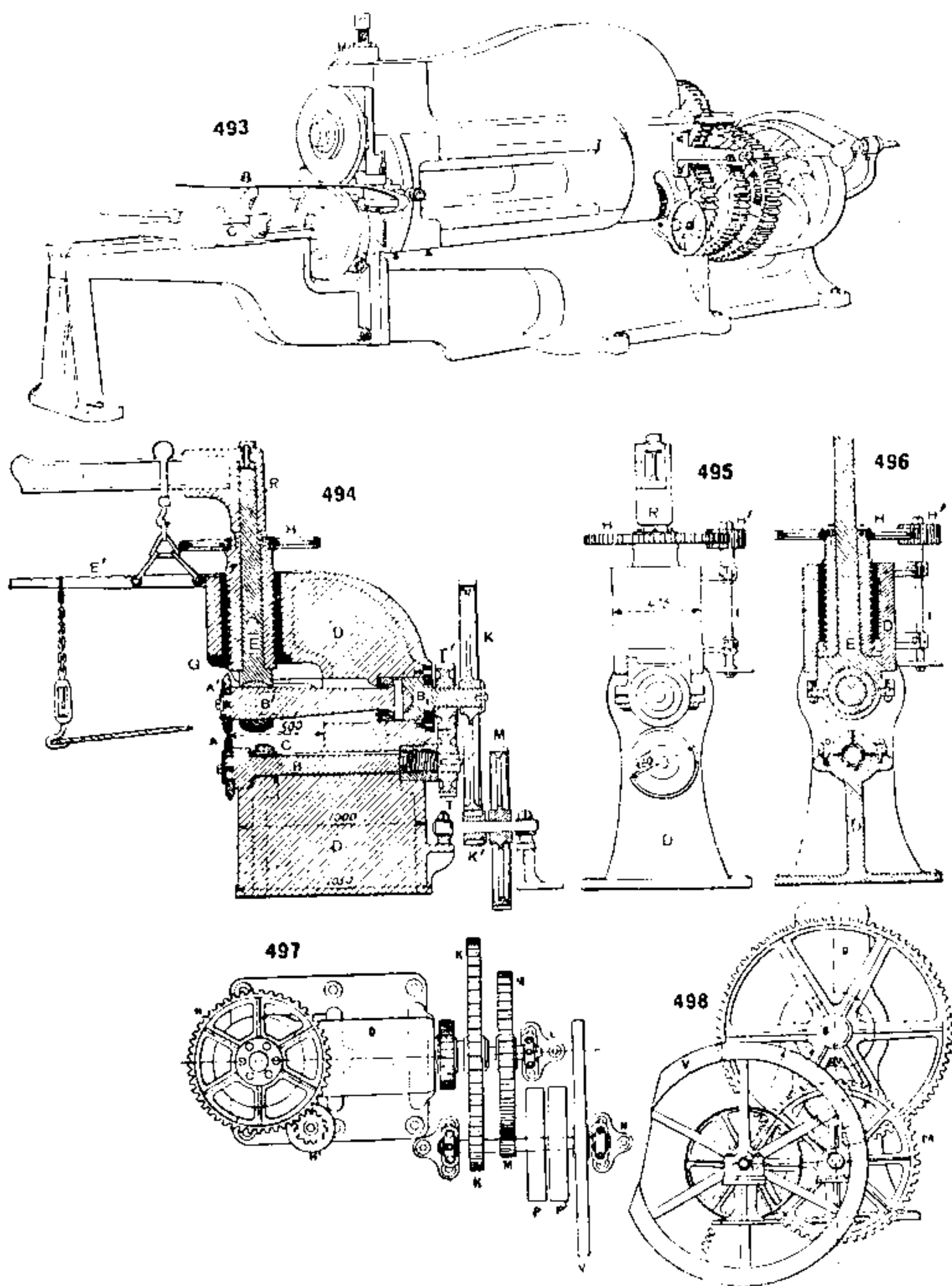


Рис. 493 — 498.

шківів PP . Оба вала с'єднуються шестернями T и T' . Для облегчення подачі листів устроєно підйомне пристосування E' , укріплене к балке S .

Ножницы для параллельной разрезки полос.

Процесс разрезки несколькими параллельными циркулярными ножами вызвал лет сто тому назад появление соответствующих машин (рис. 499—500), которые сыграли крупную роль при массовом производстве узких полос.

В этом процессе не происходит, собственно говоря, отделения материала, а производится разделение заготовки на несколько отдельных частей. Операция заключается в продольной разрезке тонкой полосы на одну или две узких, пропуская первоначальную полосу между двумя рядами стальных ножей (рис. 501) циркулярной формы с лезвиями, несколько заходящими друг за друга. Вследствие этого резание происходит совершенно так же, как и циркулярными ножницами с двумя только ножами.

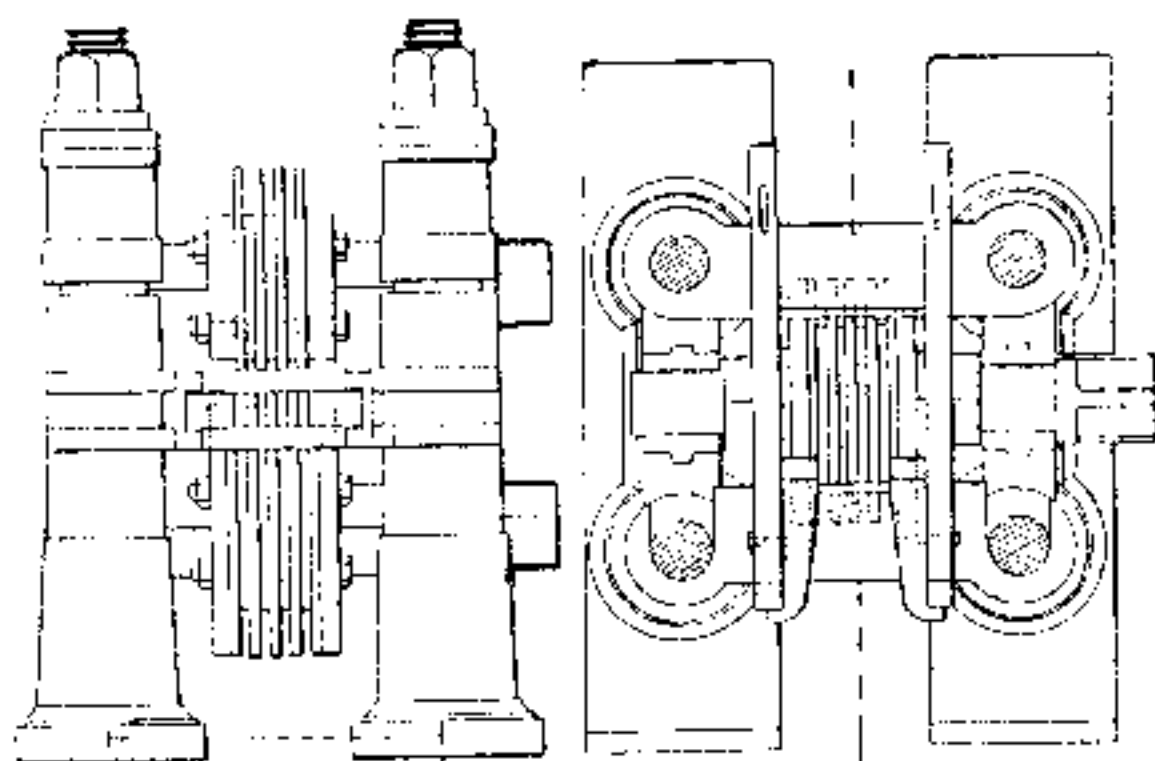


Рис. 499—500.

Во время разрезки полоса увлекается ножами, вращающимися в противоположных направлениях. Чтобы получить полосы равномерной ширины, необходимо строго направлять разрезаемую полосу на всем протяжении резки. Операция обычно производится с нагретым докрасна материалом, при чем ножи непрерывно поливают водой.

При разрезке профилей полосу тщательно направляют и пользуются только одной парой ножей (рис. 488) с углом между лезвиями 60° .

Такая разрезка иногда применяется при производстве узких лент из сталлической проволоки.

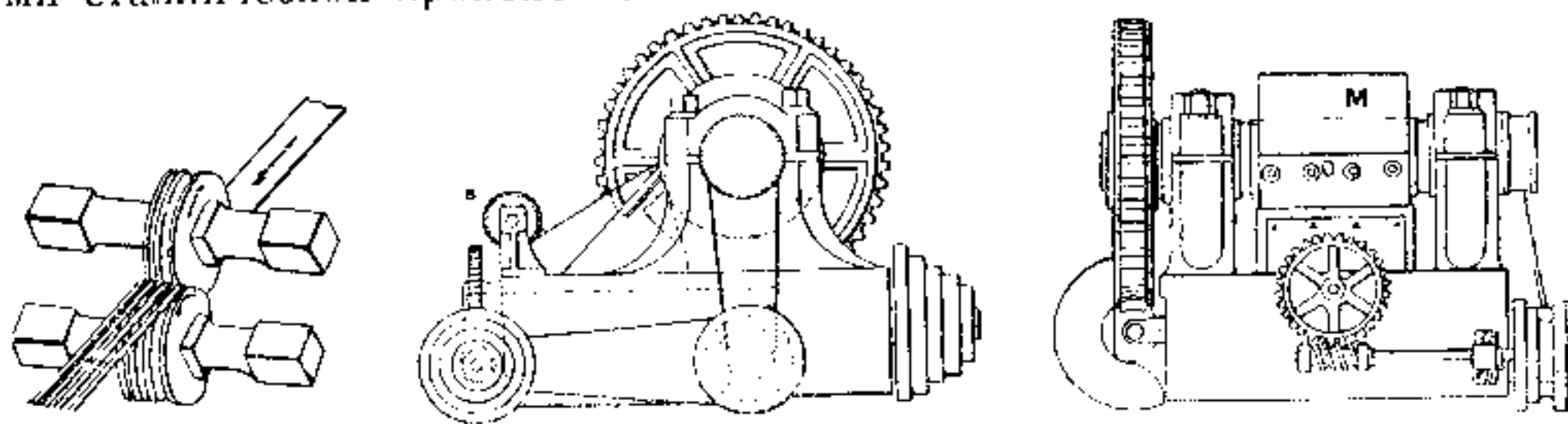


Рис. 501—503.

Операция в последнем случае производится непрерывно. Заготовке придают вращательное движение, а ножу — пропорциональное прямолинейное движение в направлении, параллельном оси вращения. Таким образом лист разрезается по спирали. Получившуюся полосу или проволоку пропускают через прокатный стан или волочильную доску для выравнивания и сжатия металла. Металл должен быть очень вязким, так как в противном случае получается неудовлетворительный продукт¹⁾.

¹⁾ Во втором томе настоящего труда приводится приложение этого процесса к производству проволоки.

На рис. 502 и 503 изображена машина для резки тонких листов из свинцовой отливки M , установленной на медленно вращающейся оправке. Очень широкий нож O срезает слой металла по всей длине болванки. Суппорт B , к которому укреплен нож, подается автоматически в направлении к оси вращения. Лист F наматывается на барабан V .

Опыты резки зубилом.

Диаграммы давлений и энергии, изображенные на рис. 504, были составлены по результатам опытов резания под прессом холодной железной полосы сечением 30×18 мм. Эти диаграммы характеризуют первый период опыта, а именно медленное углубление зубила до 8 мм под максимальным давлением в 29 800 кг. На протяжении второго

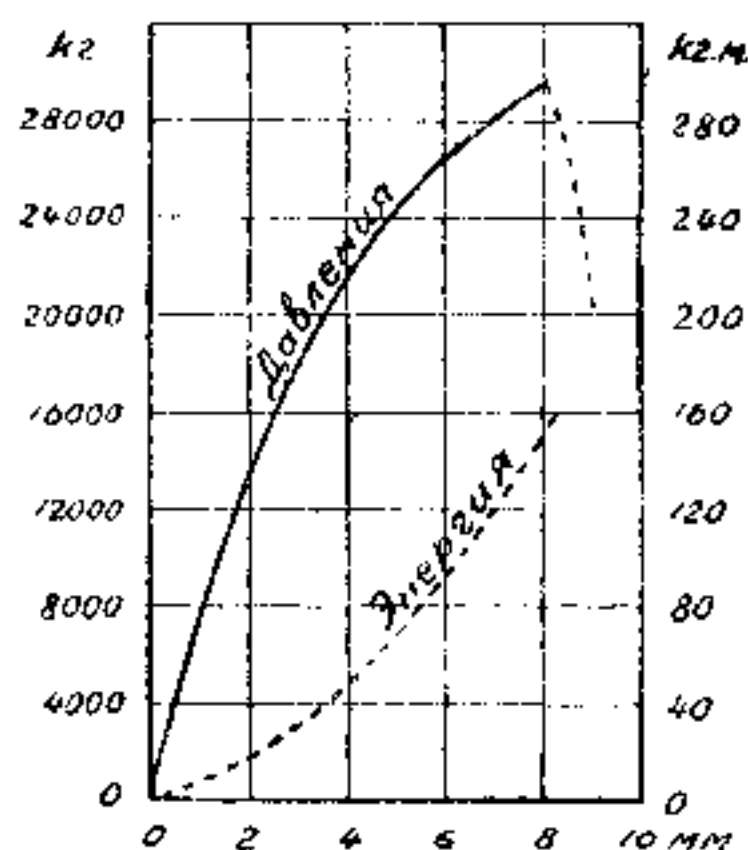


Рис. 504.

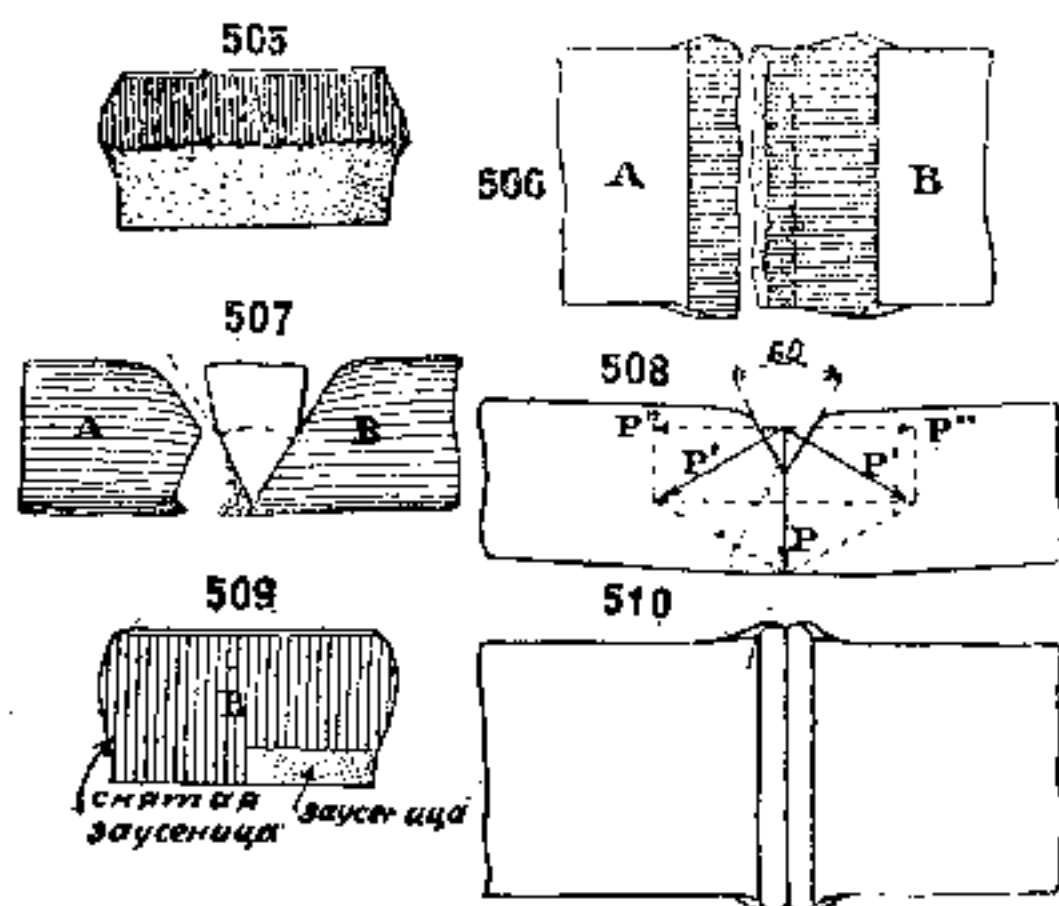


Рис. 505—510.

периода зубило разорвало полосу пополам, при чем оказалось невозможным определить усилие разрыва при остающейся толщине в 10 мм.

После разрыва обе половины расходятся, при чем одна, не касаясь более зубила, а другая — скользя по нему (рис. 507). Разрыв вызывается продольными усилиями P'' (рис. 508), представляющими проекции реакций, нормальных режущим поверхностям инструмента. Незадолго до разрыва в глубине зарубки образуется трещина, и вслед за тем полоса разрывается асимметрично, так как невозможно достигнуть условий математического равновесия.

Максимальное усилие в 29 800 кг соответствовало максимальному сопротивлению на квадратный миллиметр сечения разреза, равному

$$R = \frac{29\,800}{18 \times 30} = \frac{29\,800}{540} = 55 \text{ кг/мм}^2.$$

После этого зубило вновь затачивали. При несколько затупленной режущей кромке усилие достигало 36 000 кг или 98 килограммов на квадратный миллиметр, т.е. вдвое превышало коэффициент сопротивления срезанию двумя ножами, действующими одновременно.

Энергия резания достигалась 155 кг·м, что на квадратный миллиметр сечения соответствовало

$$\frac{155}{549} = 0,29 \text{ кг·м/мм}^2.$$

Угол зубила равнялся 60° . Если не принимать во внимание трения, развивавшегося на углубляющемся в металл зубиле, то нормальные реакции P' равны давлению P .

Продольные усилия P'' равнялись:

$$P'' = P \cos \frac{60^\circ}{2} = P \cos 30^\circ = 29\,800 \times 0,866 = 25\,900 \text{ кг.}$$

Так как толщина испытательного бруска все еще равнялась 10 мм, т.-е. сечение его было $10 \times 30 = 300 \text{ мм}^2$, то нагрузка на квадратный миллиметр равнялась:

$$\frac{25\,900}{300} = 86 \text{ кг/мм}^2,$$

что кажется чрезмерным. Тем не менее это значение совпадало с абсолютным сопротивлением разрыву текучего и вязкого железа.

Глубина зарубки при ударе по зубилу ручным молотом или лобовым молотом весом 6 кг равнялась 2 мм, т.-е. глубине, получавшейся при давлении в 13 000 кг. Таким образом, полезная затрата энергии равнялась 15,6 кг.м. При другом более сильном ударе глубина зарубки получилась 3 мм, что соответствовало давлению в 18 000 кг и полезной затрате энергии в 31,5 кг.м. Эти значения дают понятие о силе ударов молота данного веса при резке зубилом холодного железа.

На рисунках 505—510 изображены деформации, происходящие при резке полосы.

Излом в месте разрыва не похож на излом под действием растяжения и приближается скорее к излому, получающемуся от срезывающего усилия.

Опыт резки ножницами.

Надо различать срезывание одним ударом ножей с параллельными режущими кромками от постепенного срезывания наклонными или дисковыми ножами.

Резание параллельными ножами. Этот процесс применяется для резки сравнительно узких и толстых полос или для вырезания из листа заготовок, когда недопустима какая-либо деформация металла.

Углы резания ножей обычно делаются равными 90° , чем достигается непосредственное срезание и вызывается скольжение частиц металла, отделяющихся друг от друга под действием возрастающего давления. Ножи с углом менее 90° не выдержали бы холодной резки. Ножи с наклонными лезвиями подвергались бы очень высоким местным давлениям, которые быстро привели бы их в негодность, а при фасонном сечении изделия вызвали бы сильные деформации или разрывы металла.

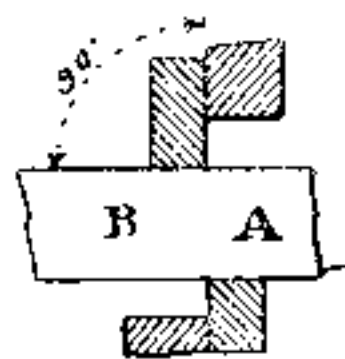


Рис. 511.

Разрезаемое изделие помещают между двумя параллельными ножами (рис. 511) и подвергают поперечному давлению, возрастающему до значения, равного сопротивлению металла срезанию. Вслед затем части А и В быстро отламываются друг от друга, давая излом зависящий в большей или меньшей мере от характера металла.

На рис. 512—525 изображены различные зоны деформаций железного бруска. Главная зона быстрого разрыва во всех случаях ярко выражена и характеризуется отрывами металла под различными углами, как то можно видеть по продольным линиям на боковых поверхностях, изгибающихся к линии разрыва.

Срезание железных угольков (рис. 519) сопровождается такими же явлениями.

При горячем резании, производя целый ряд последовательных резов, можно констатировать большую или меньшую зависимость

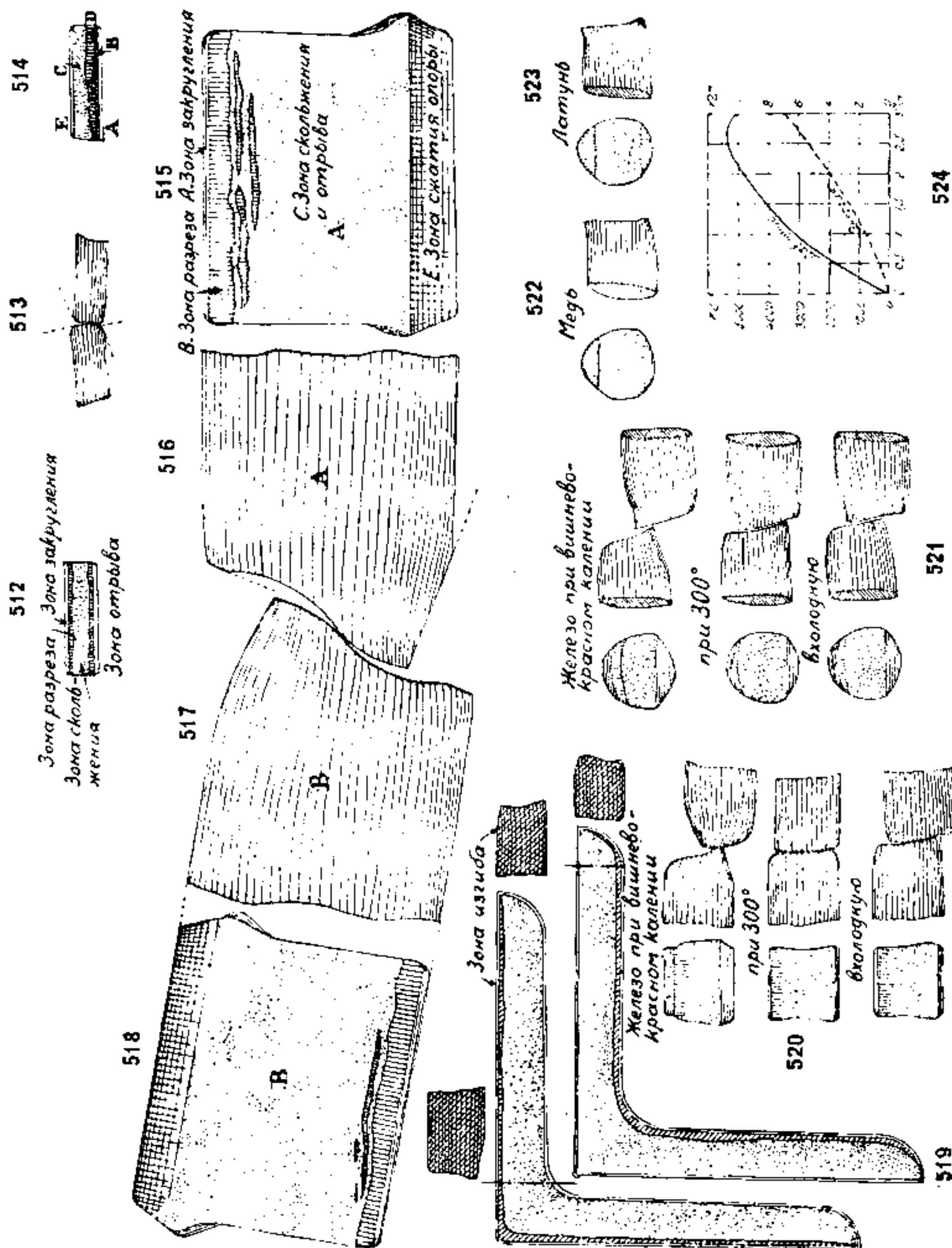


Рис. 512-525.

деформации металла от температуры. Можно заметить, что железо, обладающее незначительной текучестью, дает синие или зеленоватые изломы, при чем разрыв сопровождается звуком, характерным для хрупкого металла. Как то видно на рис. 520 и 521, деформации при

температуре около 300° меньше, нежели при холодном железе, а деформации при вишнево-красном калении значительно больше. Таким образом, по явлениям, сопровождающим срезание образца, можно всегда судить о текучести металла при различных температурах.

Медь и латунь в холодном состоянии дают срезы (рис. 522—523), мало отличающиеся от предыдущих (рис. 521).

Наблюдая перемещения подвижного ножа и его усилия, можно вычертить кривую (рис. 524), абсциссы которой соответствуют пройденному пути, а ординаты — усилию. По этой диаграмме можно вывести непосредственную затрату энергии на операцию.

Опыты показывают, что, в зависимости от состояния ножей и их режущих кромок, максимальный коэффициент сопротивления или максимальное усилие может превышать более чем вдвое свое нормальное значение. При резании хорошо заточенными и правильно установленными ножами с режущими краями в одной плоскости, т.-е. при наиболее благоприятных условиях резания, коэффициент сопротивления железа колеблется от 24 до 36 кг/мм^2 сечения; коэффициент для обыкновенной стали равняется от 32 до 45 кг/мм^2 , а для меди — от 18 до 25 кг/мм^2 .

Перемещение ножей относительно изделия, вызывающее разрыв, зависит от ковкости и текучести металла. Чем больше текучесть, тем больше соответствующее ему перемещение ножей.

Это перемещение ножей для железа равняется от 0,2 до 0,4 толщины e . Таким образом, если перемещение подвижного ножа равняется $L = me$, а ширина разреза равна l , то, принимая среднее усилие равным $\frac{2}{3} R$, работа срезывания будет:

$$W = \frac{2}{3} elRL = \frac{2}{3} me^2lR,$$

что на единицу ширины составляет:

$$W_1 = \frac{2}{3} me^2R,$$

а на единицу сечения:

$$W'_1 = \frac{2}{3} meR.$$

Принимая $m = 0,3$, а $R = 30 \text{ кг/мм}^2$ получим:

$$W'_1 = \frac{2 \times 0,3 \times e \times 30}{3} = 6e.$$

Таким образом, при срезании холодной железной полосы шириной 100 мм, толщиной 20 мм с сечением $S = 2000 \text{ мм}^2$, максимальное усилие может достигнуть $P = 100 \times 20 \times 30 = 60000 \text{ кг}$.

Работа срезывания в этих условиях будет равняться:

$$W = 2000 \times 6e = 2000 \times 6 \times 0,020 = 240 \text{ кг.м.}$$

При резке стальной болванки сечением $400 \times 400 \text{ мм}$ при вишнево-красном калении, принимая сопротивление R равным 12 кг/мм^2 , максимальное усилие будет:

$$P = 400 \times 400 \times 12 = 1920000 \text{ кг};$$

принимая $m = 0,6e$, затрата энергии на срезание будет:

$$W = \frac{2me^2lR}{3} = \frac{2 \times 0,6 \times 400 \times 400 \times 12 \times 13}{3} = 307200000 \text{ кг.мм, или}$$

307200 кг.м.

При расчете энергии не принималось во внимание сопротивление частей машины. Вследствие этого полная затрата энергии будет больше на величину, зависящую от устройства машины, а также от скорости, придаваемой инструментам.

Непрерывное резание.

Непрерывное резание или резание наклонными ножами применяется при сравнительно тонком и очень широком металле. Так, например, им пользуются для разрезки на полосы листов.

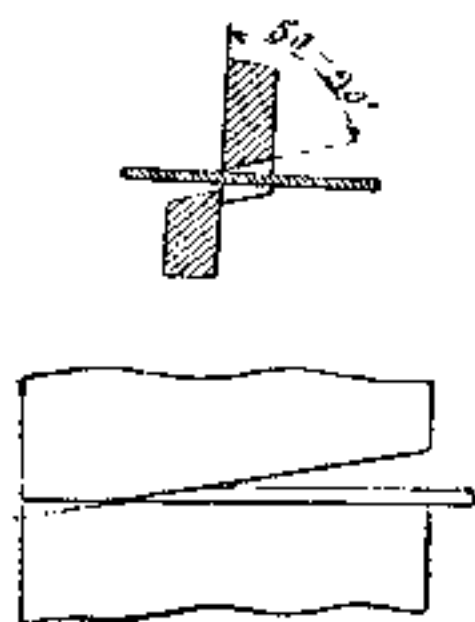


Рис. 526.

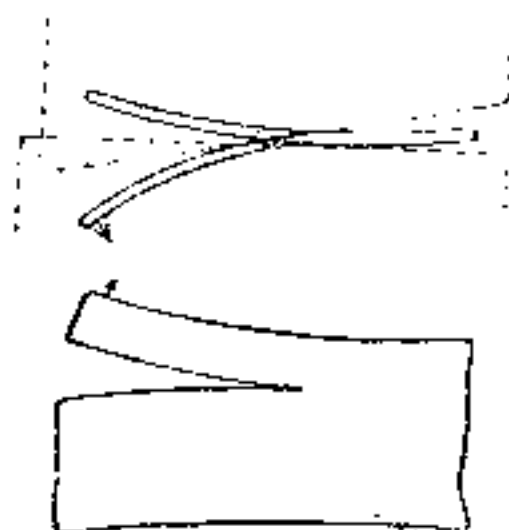


Рис. 527.

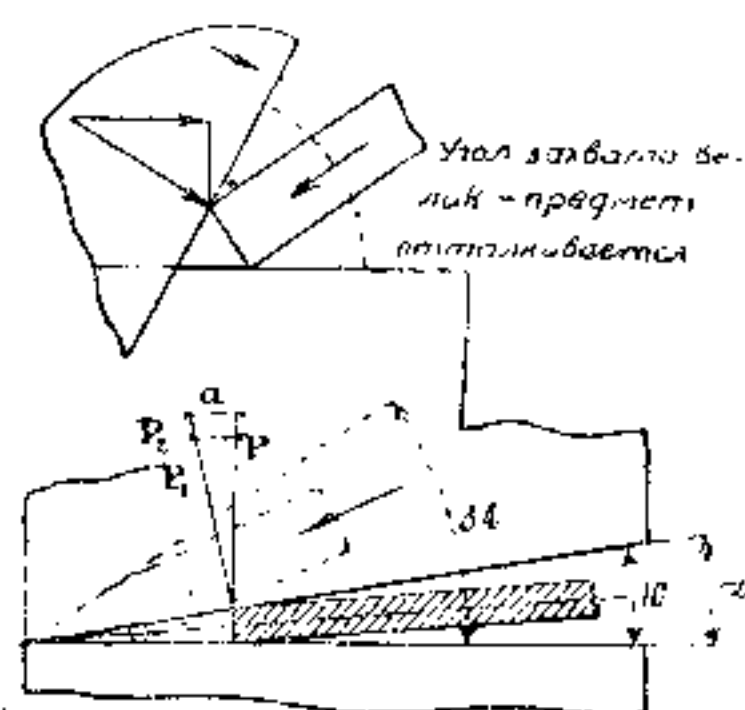


Рис. 528.

Операция требует ножей с углом от 50° до 90° (рис. 526) в зависимости от твердости металла, и углом наклона от 5° до 15° так, чтобы полоса или лист не отходили под действием инструментов и не слишком изгибались бы отрезаемые части (рис. 526—528).

Работа наклонных лезвий сложнее работы параллельных ножей. На рис. 529 и 530 изображены отдельные моменты операции. Операция подразделяется на несколько фаз, а именно: на углубление инструмента в металл, скольжение металла в плоскости среза с одновременным изгибом и разрывом в плоскости резания и раздвиг частей

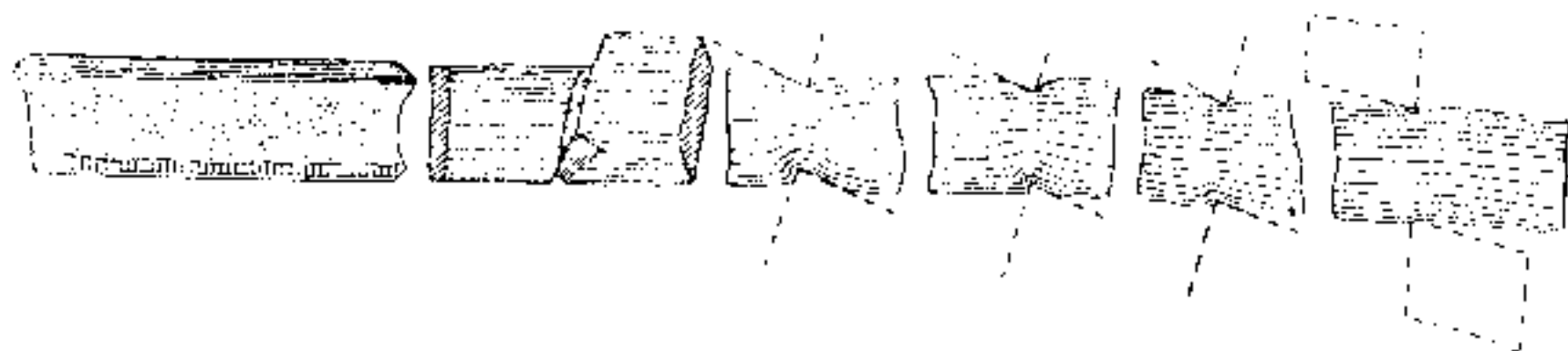


Рис. 529.

в стороны. Все эти операции развиваются непрерывно на протяжении всей длины разрезаемых листов. Установившееся усилие резания всегда несколько меньше максимального усилия, наблюдающегося в начале операции, как то можно видеть на диаграмме рисунка 531.

Опыты производились с ножами при угле наклона в 10° (рис. 528). Заметил, что угол наклона, при котором металл начинает отходить от лезвия, равняется 30° — 34° . При большом угле наклона ножа необходимо прилагать к разрезаемому изделию усилие, прижимающее его к инструменту. Отсюда видно, что при угле α' , близком к 90° , это усилие получило бы чрезвычайно большое значение.

В производившихся опытах средняя плоскость разрезаемого изделия устанавливалась в плоскости биссектрисы угла, составляемого лезвиями, т.-е. ей давали возможность самой занять это положение и наблюдали вертикальное усилие, или составляющую P (рис. 528) реакции P_1 на ножи. Эти величины связаны между собой зависимостью:

$$P = P_1 \cos \alpha.$$

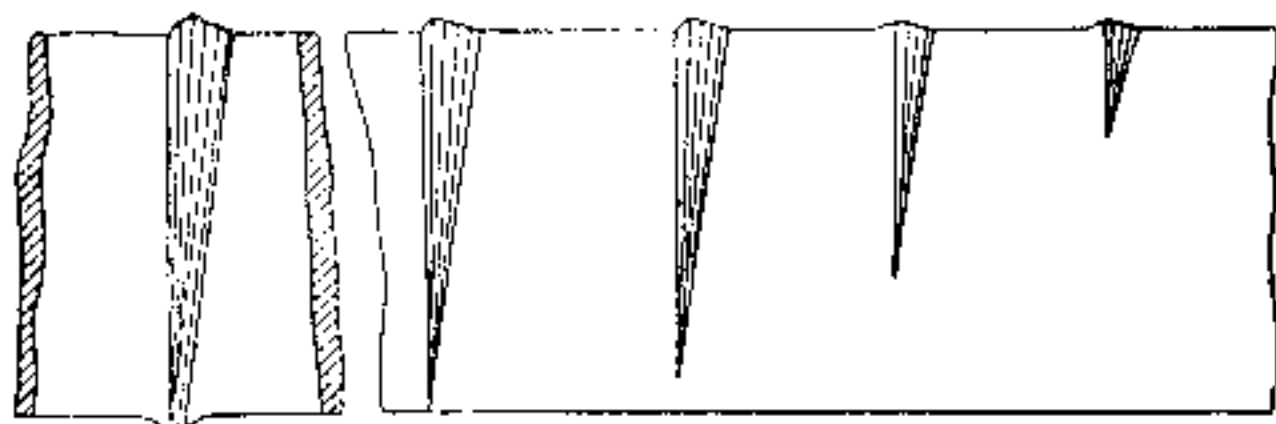


Рис. 530.

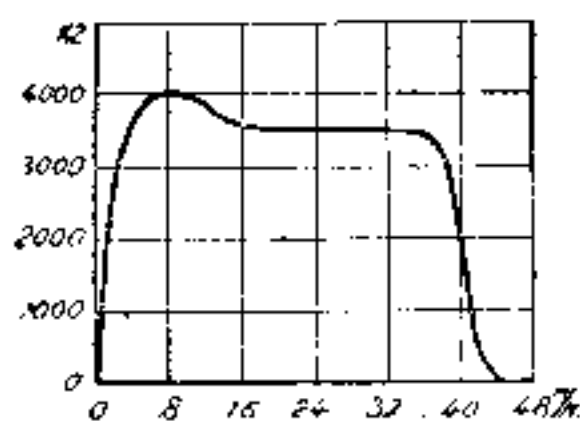


Рис. 521.

При $\alpha = 10^\circ$, $\cos \alpha = 0,985$, так что P и P_1 мало разнятся друг от друга.

Составляющая P_2 стремится оттолкнуть изделие. Она должна быть меньше величины трения между ножами и изделием.

Мы приведем здесь только результаты опытов над резанием железа.

Резание наклонными ножами.

Значение отношения $\frac{P}{e}$ возрастает пропорционально толщине металла. Закон изменений этого отношения можно изобразить графически, (рис. 532) принимая за абсциссы толщину e , а за ординаты усилия P , отнесенные к миллиметру толщины листа, то-есть значения $\frac{P}{e}$. Получающаяся таким образом кривая близка к прямой линии и проходит через начало координат.

Вследствие этого имеем зависимость $y = \frac{P}{e} = Ke$. K соответствует тангенсу угла наклона прямой AB ,

последняя же изображает в том же масштабе значения $\frac{P}{e}$.

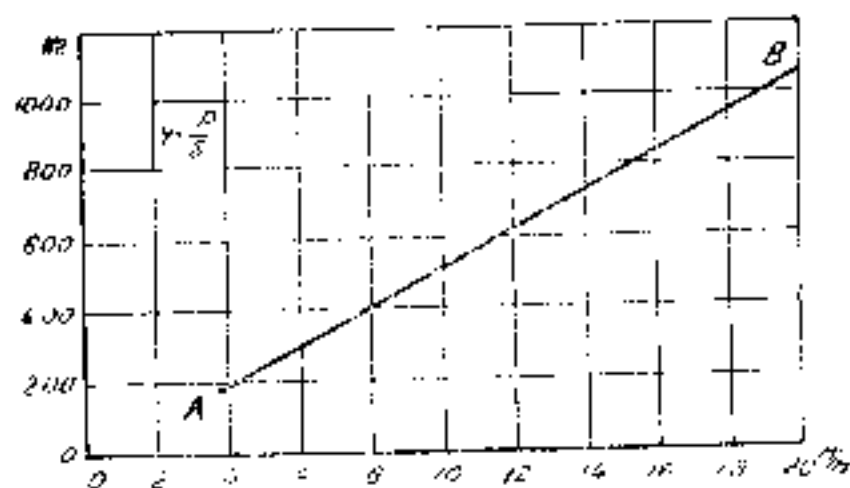


Рис. 532.

Из предыдущей зависимости получим:

$$P = Ke^2.$$

Из этих опытов вытекает, что реакции листа при резании его наклонными ножами пропорциональны квадратам толщины листа.

Что касается значения коэффициента K , то оно зависит главным образом от состояния ножей и их угла наклона.

В практических условиях, т.-е. при слегка затупленных ножах, можно воспользоваться данными шестого столбца таблицы 28.

Оказывается, что при угле наклона ножей в 10° , коэффициент K колеблется для железа от 48 до 53, т.-е. среднее значение его равняется приблизительно 50.

Опыты резания наклонными ножами.

Толщина мм	Максимальное усилие P		Реакция P_1 для затуплен- ных ножей	$\frac{P}{e}$ для затуплен- ных ножей	$K = \frac{P}{e^2}$
	Затупленные пожи	Заточенные ножи			
1	2	3	4	5	6
3,8	700	380	710	184	48
4,65	1 180	600	1 200	258	54
5,2	1 450	750	1 470	280	53,5
8,9	4 000	2 000	4 050	450	50
11,2	6 050	3 200	6 150	540	49
15	10 350	5 800	10 450	790	46
20	21 200	11 500	21 500	1 060	53

Реакцию P_1 можно вывести из уравнения:

$$K = \frac{P}{e^2} = \frac{P_1 \cos 10^\circ}{e^2} = \frac{P_1 \cos \alpha}{e^2},$$

откуда:

$$P_1 = \frac{Ke^2}{\cos \alpha}.$$

Произведенные нами опыты с пожами при разных углах наклона показали, что в зависимости от характера металла существует определенное значение (13° для железа), при котором усилие P будет минимальным. Однако, на практике, для уменьшения деформации, при резании гильотинными пожницами пользуются ножами с углом наклона от 5° до 10° .

В рычажных ножницах угол наклона непрерывно изменяется. В начале резания контакт с листом меньше, нежели при дальнейшем развитии операции, отчего усилие резания листа возрастает. Для уменьшения этого усилия подвижному ножу ножниц часто придают изогнутую форму, выгибая режущую кромку по дуге спирали (рис. 533), для замедления резания и достижения в месте контакта с металлом листа почти постоянного усилия.



Рис. 533.

При наклонных гильотинных ножах, предназначенных для резки широких изделий, при расчете затраты энергии можно пренебречь периодом возрастания усилия P и окончательным периодом операции, когда это значение уменьшается. Можно допустить, что работа срезывания требует постоянного усилия на всем протяжении резания.

Путь, на протяжении которого действует усилие резания, при резании листа длиной l будет $l \sin \alpha$. Энергия будет:

$$W = Pl \sin \alpha = Ke^2 l \sin \alpha.$$

Работа на единицу разрезаемой поверхности S будет:

$$W_1 = \frac{Pl \sin \alpha}{S} = \frac{Ke^2 l \sin \alpha}{el} = Ke \sin \alpha.$$

При угле $\alpha = 10^\circ$, $\sin 10^\circ = 0,174$.

При резании железа вхолостую, значение K изменяется от 25 до 50 в зависимости от состояния лезвий, а потому, принимая его равным 50, получим:

$$W_1 = 50 \times 0,174e = 8,7e.$$

Для железа при разрезке его в один прием было найдено, что среднее значение $W_1 = 6e$.

Отсюда вытекает, что затрата энергии при резании параллельными ножницами мало отличается от затраты энергии при резании ножницами с наклонными ножами. Главное достоинство последних заключается в том, что они требуют меньших усилий. Так, например, для резания листа толщиной 20 мм ножницами с наклонными ножами имеем, что $P = Ke^2 = 50 \times 20^2 = 20\,000$ кг, тогда как при толщине листов в 100 мм мы нашли, что усилие для ножниц с параллельными ножами равняется 60 000 кг.

При резании листа шириной или длиной в 2 м и толщиной 20 мм ножницами с параллельными ножами потребуется усилие:

$$P = 2\,000 \times 20 \times 30 = 1\,200\,000 \text{ кг.}$$

Резание дисковыми ножами.

Мы определяли потребное для резания движущее усилие, пользуясь обыкновенными ножницами с дисковыми ножами, работающими в мастерской при нормальном рабочем состоянии ножей.

Опыты производились следующим образом. Измеряли динамометром усилие на окружности приводного шкива и сопоставляли его с усилиями, соответствующими толщине разрезаемых образцов.

Резание производилось при возможно меньшей скорости для уменьшения инерции движущихся частей. При ускорении резания усилие значительно увеличивалось (например, с 11 до 18 кг и с 28 до 35 кг). Материалом служила медь.

Называя через P усилие, касательное к шкиву, мы нашли значения (см. таблицу 29), полученные вычитанием из наблюдаемых усилий сопротивлений машины при холостой работе.

Таблица 29.

Опыты резания циркулярными ножами.

Толщина листов мм	Усилие P на окружности шкива кг	Значение $\frac{P}{e}$ кг	$K = \frac{P}{e^2}$ кг/мм ²	Примечание
1,7	3,4	2	1,18	Касательное усилие при длине плеча равном радиусу ножей было $P_1 = 8P$. Модуль машины = 8. Диаметр ножей = 160 мм.
2,8	9,5	3,4	1,21	
3	11,1	3,7	1,23	
3,9	19,2	4,9	1,26	
4,8	28,3	5,9	1,23	
6	44,4	7,4	1,22	

Здесь также можно видеть, что закон изменения значения $\frac{P}{e}$ изображается почти прямой линией (рис. 534). Отсюда можно сделать вывод, что движущее усилие при циркулярных ножах приблизительно пропорционально квадрату толщины листа.

Если обозначим через Q усилие на окружности ножей, через P движущее усилие, действующее на плечо рычага, равное радиусу ножа (рис. 535), то для двух ножей ¹⁾ получим, что:

$$P_1 = 2Q.$$

С другой стороны, машина дает:

$$P_1 = 8P,$$

а таблица 28 дает, что:

$$K = \frac{P}{e^2} \approx 1,2.$$

Если K (как оно и есть на самом деле), — величина постоянная и равная:

$$P_1 = 8P = 2K_1 e^2,$$

Рис. 534.

то можно определить его значение, равное для меди:

$$K_1 = \frac{P_1}{2e^2} = \frac{8P}{2e^2} = \frac{8 \times 1,2}{2} = 4,8.$$

Можно принять, что коэффициент K_1' для железа относится к коэффициенту K_1 так же, как относятся друг к другу коэффициенты сопротивлений резанию железа и меди. Сопротивление резанию листов меди в среднем равняется 20 кг/мм^2 сечения. Для железа значение это можно принять равным 30 кг/мм^2 . Таким образом:

$$K_1' = K_1 \times \frac{30}{20} = \frac{4,8 \times 3}{2} = 7,2.$$

Зависимость минимального диаметра ножа от толщины металла. — В пределах приведенных выше опытов отношение диаметра дисков к толщине металла не имеет большого значения. Тем не менее диаметр дисков не может не зависеть от толщины металла, если подача листов производится трением, т.-е. естественным путем.

При таких металлах, как железо и медь, угол захвата ножей колеблется между 28° и 34° . Необходимо, чтобы угол 2α между касательными (рис. 536) к соответствующим точкам контакта не превышал этих значений.

При данной толщине e металла и данном захватывании ε ножей с радиусом ρ можно принять, что:

$$OB = \rho \cos \alpha = \frac{2\rho - (\varepsilon + e)}{2},$$

откуда:

$$\rho = \frac{\varepsilon + e}{2 - 2 \cos \alpha} = \frac{\varepsilon + e}{2(1 - \cos \alpha)}$$

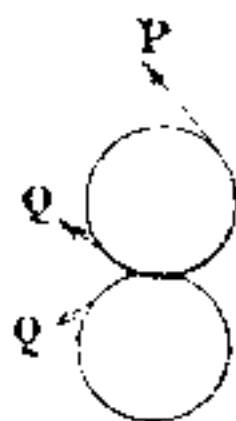


Рис. 535.

¹⁾ Достаточно приводить в движение только один нож, так как второй вращается трением. Однако, в этом случае трение, вызывающее подачу листа, может быть вдвое меньше, отчего увеличивается скольжение ножей, тогда как сцепляя оба ножа шестернями одинакового диаметра, используется трение на обоих ножах.

При $\varepsilon = 4$ мм, чего вполне достаточно для правильной работы даже несколько изношенных ножей и при $\alpha = 16^\circ$, т.-е. при $\cos \alpha = 0,958$, получаем:

$$2\rho = \frac{4 + e}{1 - 0,958} = 100 + 25 e.$$

На практике обычно пользуются дисками диаметром $D = 30 e$.

Эта зависимость показывает, что не следует слишком увеличивать захода ε ножей.

Реакция на диски.—Для расчета реакции на диски можно воспользоваться уравнением работы.

Работа T_m на шкиве в одну секунду, приходящаяся на один диск, равняется произведению $Q \times V$ (где V —скорость на окружности дисков, колеблющаяся при холодном резании общепринятых металлов между 10 и 15 мм/сек¹).

Выведем другое выражение этой работы, основываясь на следующих теоретических соображениях.

Допустим, что мы имеем дело с неупругим, с точки зрения изгиба, металлом и что в каждый данный момент диски и неразрезанный еще металл находятся в плотном контакте друг с другом и что, кроме того, значение реакции остается постоянным.

Допустим, что AB (рис. 537) изображает часть листа, соприкасающуюся с диском. Можно допустить, что при бесконечно малом перемещении система из двух дисков действует подобно обыкновенным рычажным ножницам, ножи которых касательны к обоим дискам и бесконечно мало сближаются между собой, вследствие чего угол между ними можно принимать за величину постоянную. Этому условия можно было бы достигнуть в рычажных ножницах в том случае, если бы лист непрерывно прижимался к неподвижным ножам, составляющим между собой постоянный угол.

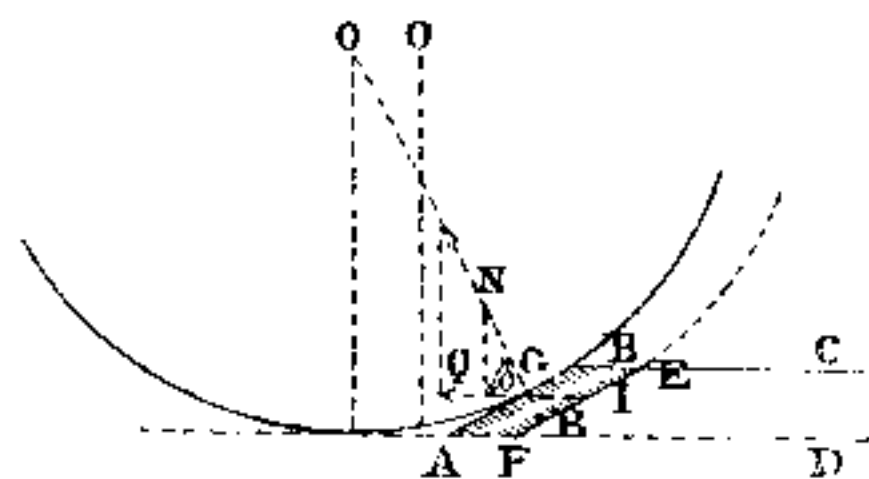


Рис. 537.

В этих условиях N изображает равнодействующую реакцию на соприкасающиеся друг с другом части.

Так как в рассматриваемом случае вся система симметрична относительно средней горизонтальной плоскости листа, то можно до-

пустить, что каждый из дисков выполняет половину работы. Вследствие этого можно рассматривать только ту половину $ABCD$ листа, которая режется только верхним диском.

Наконец, для упрощения вывода формулы допустим, что лист неподвижен, а ножи катятся по его поверхности. Центр O диска перемещается в точку O' при небольшом перемещении, соответствующем разрезу слоя $ABEF$, сторона которого AB предполагается

¹) Эта эмпирическая формула вполне соответствует только что выведенной формуле, основанной на естественном угле захвата.

Более детальные сведения о резании металлов изложены в нашем труде по этому вопросу: „Etude du sciage de métaux“, издание Dunod, Париж.

параллельной стороне FE (полагая при этом, что поверхность $ABEF$ бесконечно мала и пренебрегая влиянием изгиба листа).

Элементарная работа сопротивления в этом случае будет $N \times GII$. Но так как известно, что работа силы N на пути GII равняется работе силы N на любых траекториях, равнодействующей которых является линия GII и, в частности, на траекториях GI и HI то мы имеем:

$$N \times GI \cos(N, \overline{GI}) + N \times HI \cos(N, \overline{HI}) = Q' \times GI + 0.$$

Полная работа сопротивлений в течение одной секунды, при скорости V' , будет:

$$W_r = \int_0^s Q' \times GI.$$

Назовем через V скорость листа. Если между ножом и листом не происходит скольжения, то $V' = V$ (где V' и V скорости на окружности ножей).

Так как Q' величина постоянная $= N \cos \theta$, то имеем:

$$W_r = Q' V.$$

Пренебрегая вредными сопротивлениями, можно написать, что:

$$W = W_r \text{ или } QV = Q'V,$$

откуда $Q = Q'$.

Горизонтальная составляющая реакции равняется касательному усилию. Касательная реакция на два ножа будет:

$$2Q = 2Q' = P_1 = 2K_1 e^2$$

$$W = 2Q'V = 2K_1 e^2 V.$$

Для длины разреза l работа будет равняться:

$$2K_1 e^2 l.$$

Работа на единицу длины разреза будет:

$$W_1 = \frac{2K_1 e^2 l}{el} = 2K_1 e.$$

при

$$K_1 = 4,8 \text{ (медь) } W_1 = 9,6 e,$$

при

$$K_1 = 7,2 \text{ (железо) } W_1 = 14,4 e.$$

Равнодействующая реакция на каждый нож направлена наклонно. Угол наклона зависит от толщины листа (рис. 538). На рисунке видно, что угол наклона тем больше, чем больше толщина листа. Установить распределение реакций в месте контакта ножа очень затруднительно.

В виде примера приложения приведенных выше зависимостей, рассмотрим случай резания железного листа толщиной в 10 мм.

Движущее усилие на каждом ноже будет:

$$Q = K_1' e^2 = 7,2 \times 10 \times 10 = 720 \text{ кг.}$$

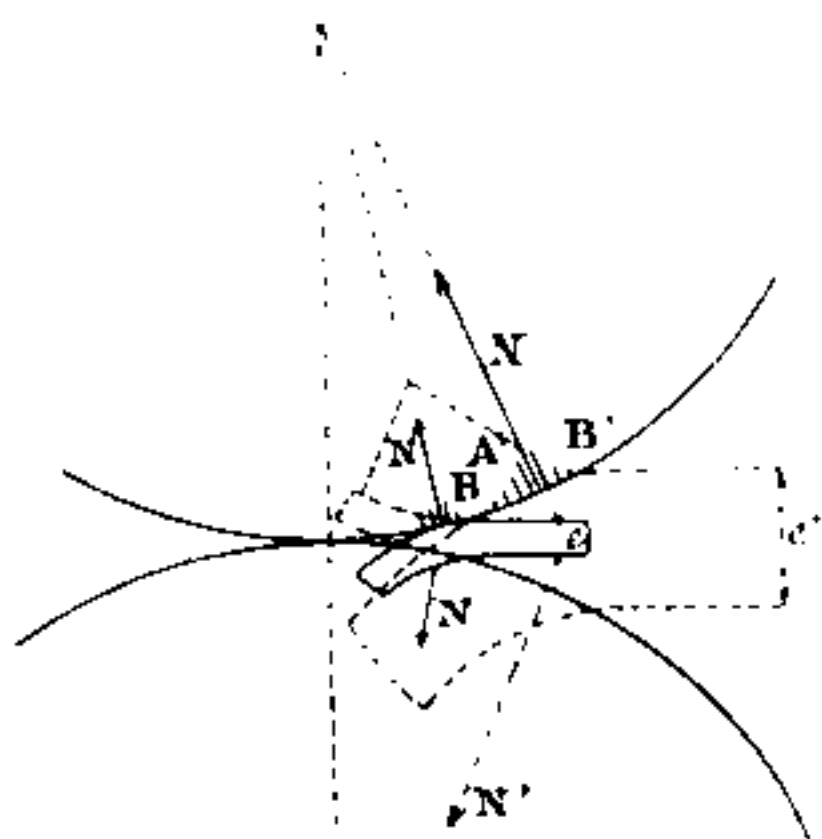


Рис. 538.

и

Диаметр ножей будет $30 \times 10 = 300$ мм. Равнодействующая реакций в месте контакта, принимая, что она составляет с линией центров угол в 15° , будет:

$$N = \frac{720}{\cos 75^\circ} = \frac{720}{0,258} = 2\,800 \text{ кг.}$$

Затраченная при резании работа при скорости на окружности ножа в 12 м в секунду будет:

$$W = 2 \times 720 \times 0,012 = 17,3 \text{ кг.м.}$$

П и л к а.

Пилка имеет очень важное значение для резки болванок, обрезки рельс, фасонного железа и т. п. Она производится в горячую по выходе изделий из прокатного стана циркулярной пилой (рис. 539) или зубчатым железным диском из железа или мягкой стали, содержащей от 0,1 до 0,2%

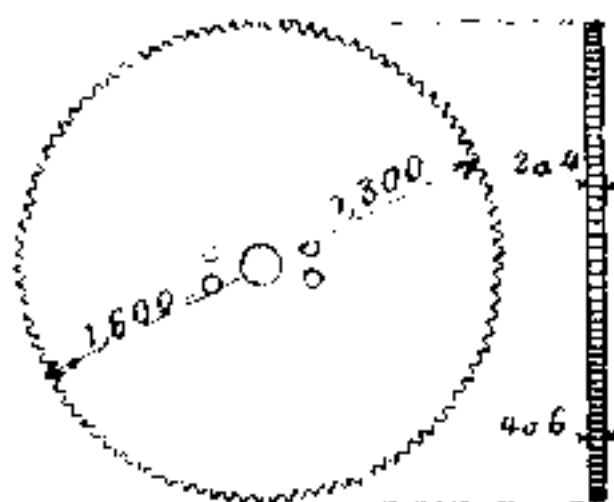


Рис. 539.

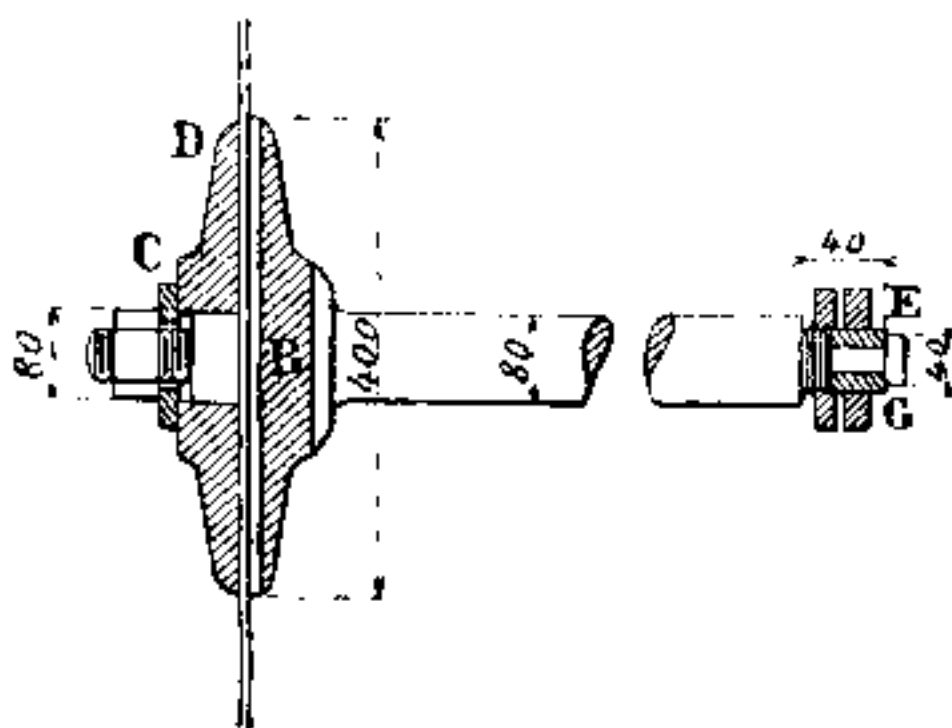


Рис. 540.

углерода и не содержащей марганца во избежание закалки зубцов.

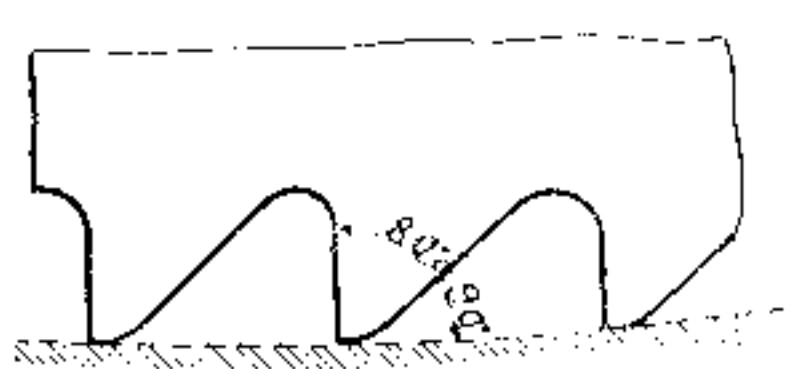
Диск монтируется на горизонтальном валу (рис. 540), вращающемся со скоростью от 800 до 1500 оборотов в минуту. Диаметр диска колеблется от 800 мм до 2,0 м при толщине от 5 до 10 мм. Скорость на окружность равняется от 50 до 120 м в секунду. Такое число оборотов дает большие скорости резания, которые в этом случае выгодны. Большая скорость резания сильно повышает температуру металла в глубине пропила (от 1000 до 1300° и выше), вследствие чего происходит значительное уменьшение сопротивления металла.

Большая скорость резания требуется не только для ускорения работы, но также и для того, чтобы заканчивать ее раньше, чем температура металла опустится ниже 600°. Кроме того, большая скорость обладает тем преимуществом, что зубцы отрывают наиболее крепко держащиеся частицы металла, которые разлетаясь в стороны сторают, чем предупреждается забивка прореза опилками.

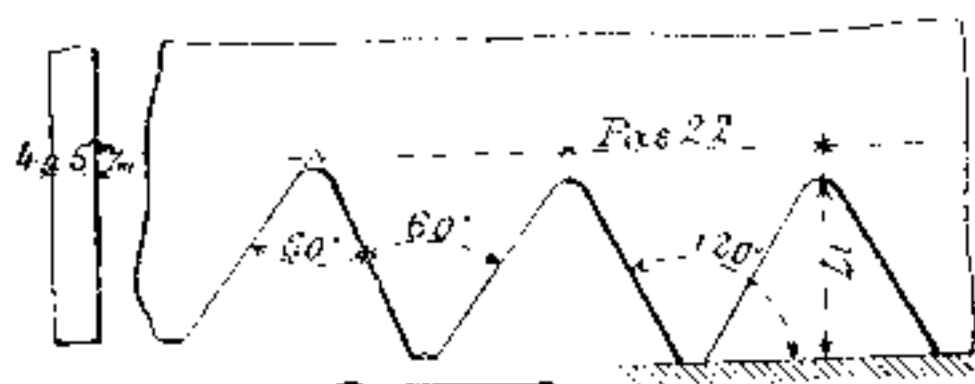
Зубцы делаются сравнительно большого размера с углом от 80° до 90° (рис. 541). Такая форма выгоднее формы зубцов, изображенной на рис. 542. Последняя еще встречается в настоящее время. Угол в этом случае равняется 120°.

При таком угле для отрывания частиц металла требуется большее усилие подачи. Большая подача вызывает большую усталость зубцов; последние ломаются и сопротивляются изнашиванию хуже, нежели зубцы типа, изображенного на рис. 541.

При пилке небольших изделий их подают на пилу, которая неподвижна (рис. 543).



Proc. 541.



Proc. 542.

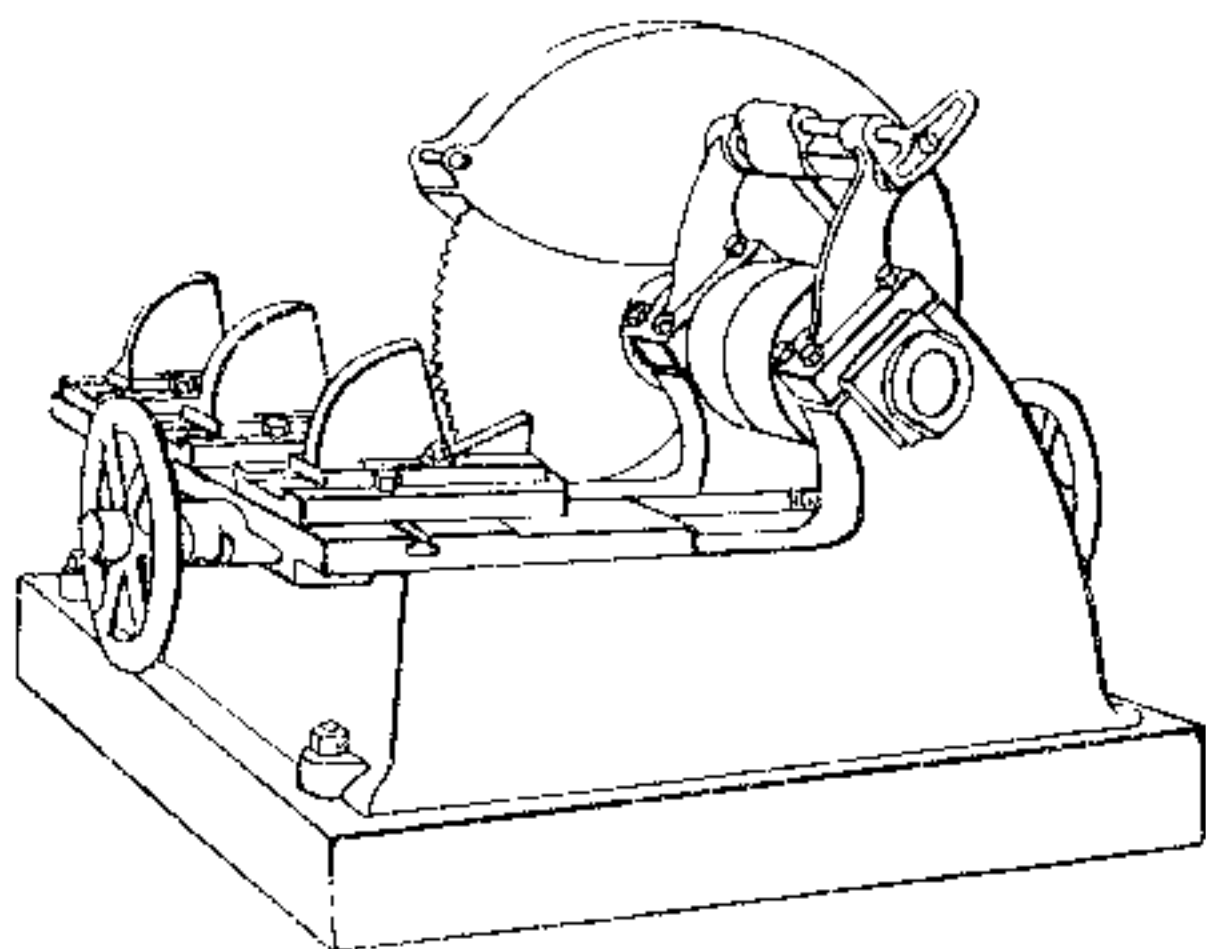
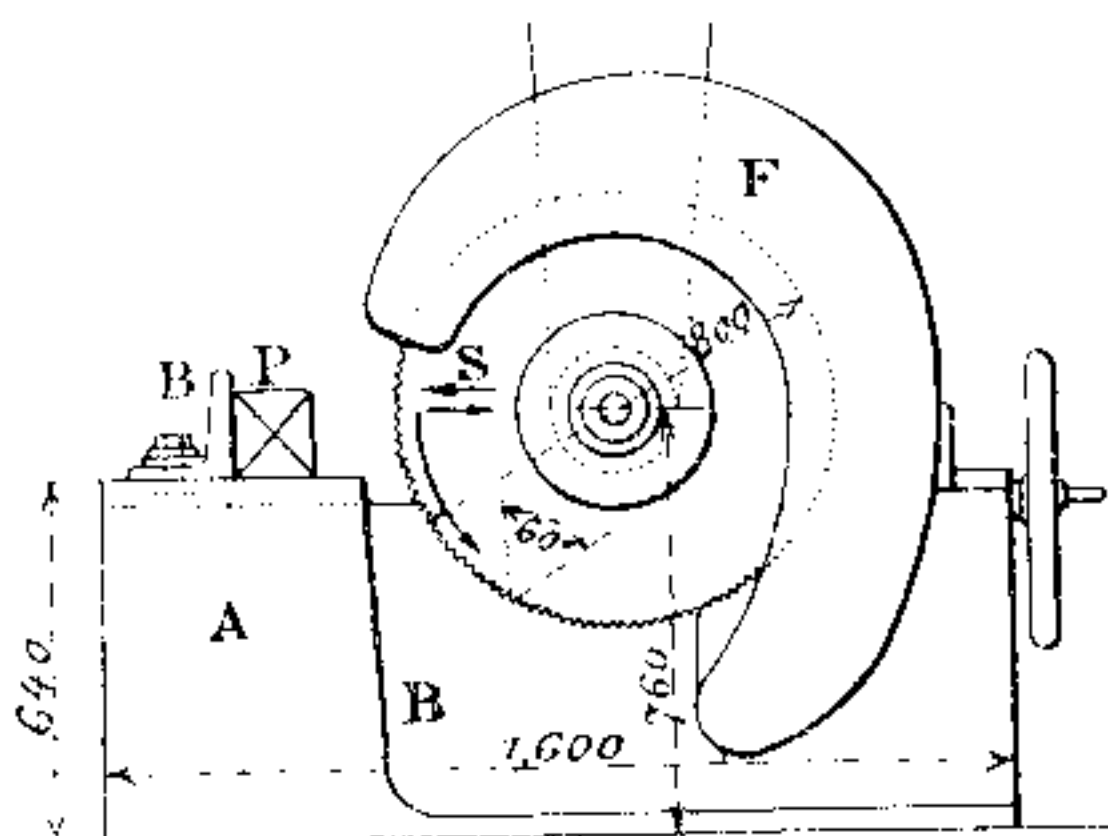
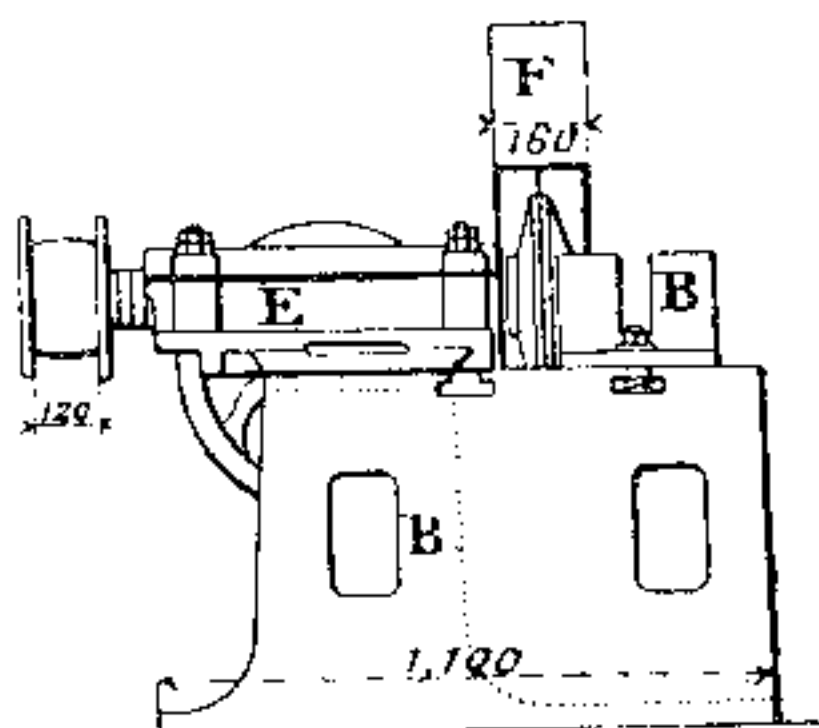


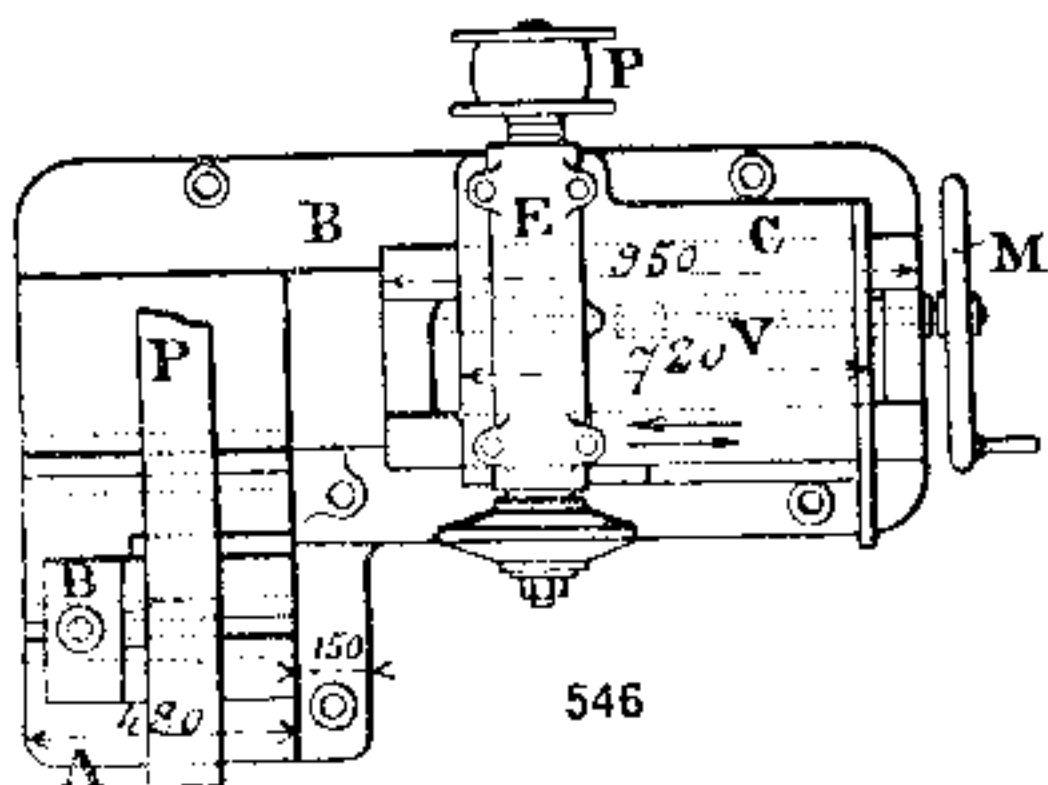
Рис. 513.



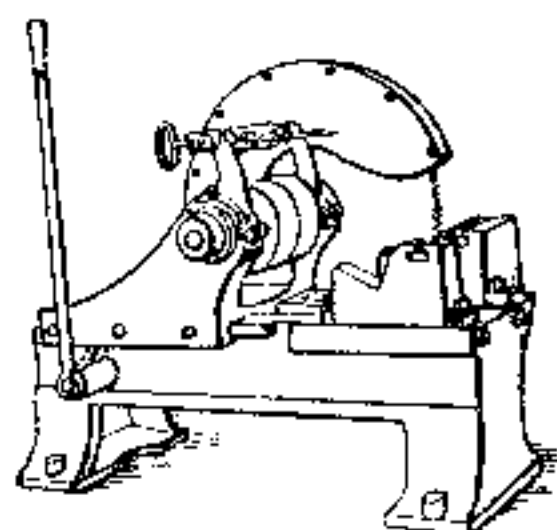
544



545



546



547

Рис. 544 - 547.

Однако, обычно предпочитают устанавливать изделие неподвижно и подавать пилу винтом, рычагом или скалкой, приводимой в движение гидравлическим давлением или иным способом (рис. 544 — 547). Выгоднее подавать пилу к изделию, нежели наоборот.

При подаче изделия трудно сохранить перпендикулярность последнего к оси вращения пилы, отчего в пропиле получается сильное трение о боковые поверхности диска.

Подача пилы сравнительно велика, а именно равняется от 5 мм до

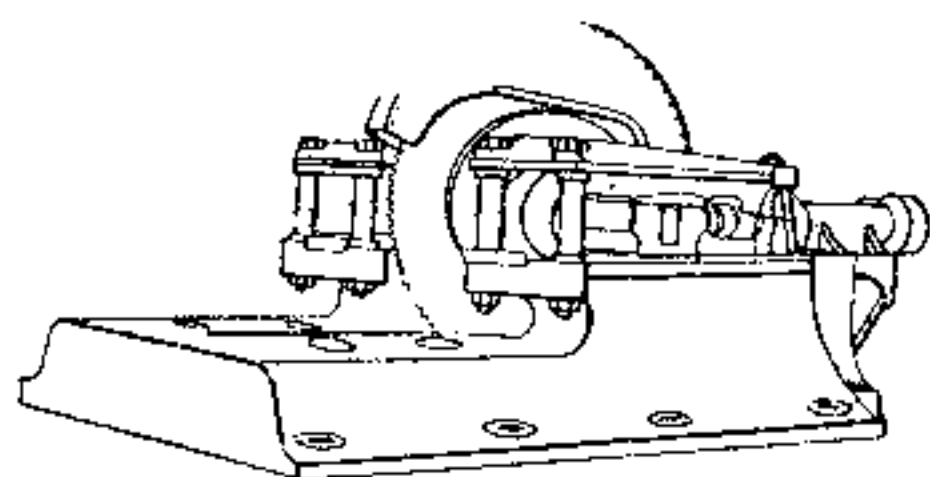


Рис. 548.

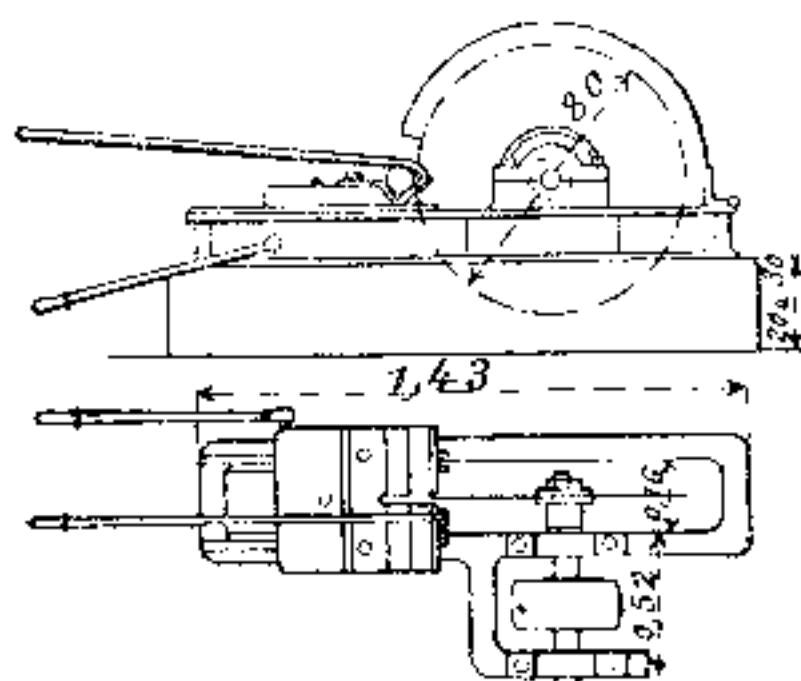


Рис. 549.

20 мм в секунду, при распиливаемой поверхности металла от 6 до 30 см² в секунду. Подача зависит от характера металла, мощности машины и скорости резания. Производительность пилы всегда очень высока. Так, например, циркулярная пила для горячей пилки металла завода Геро и Бриера (Héraud et Brière, рис. 549 — 550) без водяного охлаждения, с валом, установленным на шариковых подшипниках, при 2000 оборотах в минуту и при затрате мощности в 10 сил, делает от 100 до 120 резов в час при сечении бруска 75 × 80 мм или при таком же сечении круглой полосы.

При диаметре пилы 800 мм скорость на окружность достигает 80 м/сек.

Операция требует нескольких секунд.

Равновесие циркулярной пилы.

Исследование равновесия режущего инструмента с множественными зубьями, как, например, циркулярной пилы, очень сложно ¹⁾, и потому мы не можем здесь касаться всех деталей этого вопроса, а рассмотрим только простейшие случаи.

Как правило, диаметры пил для горячего резания металлов очень велики сравнительно с толщиной распиливаемых изделий. Поэтому можно довольствоваться исследованием условия равновесия, рассматривая равнодействующие элементарных усилий, развивающиеся на различных действующих в данный момент зубцах при снятии стружки средней толщиной e , шириной e'' , равной толщине диска при длине b'' , где b'' — толщина изделия, а θ — угол, обозначенный на рис. 551.

Равнодействующая T касательных усилий приложена к точке C так же, как и равнодействующая N нормальных усилий, проходящая через центр вращения O . Равнодействующая сил P , N и T будет:

$$P' = \frac{T}{\sin \gamma} = \frac{N}{\cos \gamma}, \quad \text{так как} \quad \frac{T}{N} = \operatorname{tg} \gamma \quad \text{или} \quad T = N \operatorname{tg} \gamma, \quad \text{откуда} \quad N = \frac{T}{\operatorname{tg} \gamma}$$

¹⁾ См. того же автора „Etude du sciage des métaux“ („Исследование пилки металлов“), издание Dunod, Париж.

где $\operatorname{tg} \gamma$ называется коэффициентом трения. Этот коэффициент имеет первостепенное значение и зависит от остроты режущих кромок, характера металла, толщины стружки. Значение его изменяется при этом в весьма широких пределах.

Для зубцов пил, применяемых для горячей распилки металла, которые мы здесь рассматриваем, $\operatorname{tg} \gamma$ может колебаться между 0,2 и 0,5.

Момент касательных усилий относительно оси вращения будет:

$$M = T_r.$$

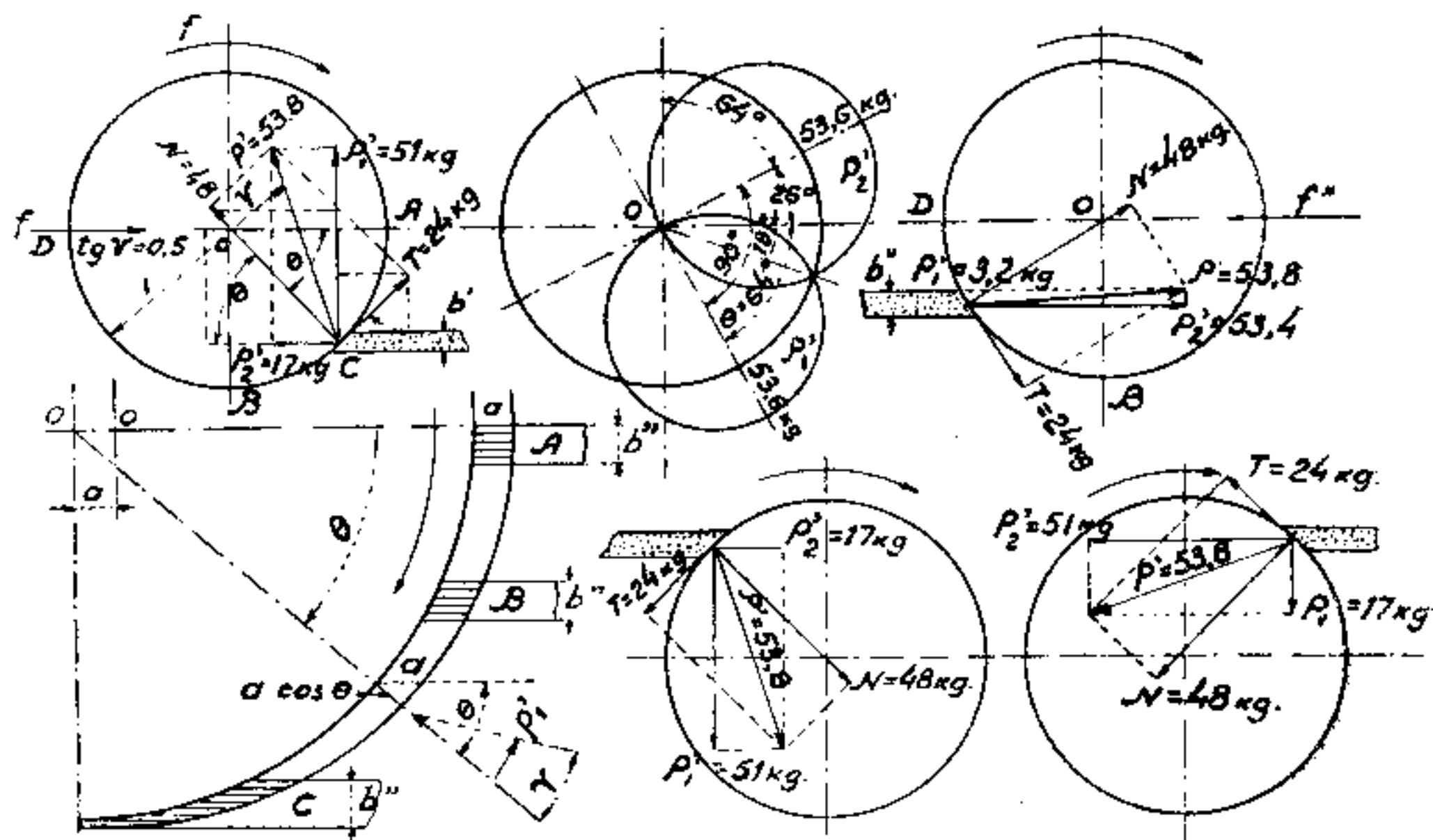


Рис. 550-555.

Равнодействующая P_1 действует на вал пилы, а последний давит на свои подшипники.

Проекция усилий P_2' и P' на горизонтальную линию, направленные в противоположную сторону, дают силу, стремящуюся подвинуть изделие вперед или назад, в зависимости от направления вращения пилы.

Проекция усилий P_1' и P' на вертикальную линию, направленные в противоположную сторону, дают силу, прижимающую изделие к его опоре. Эти силы P_1' и P_2' являются составляющими силы P' , также реагирующей на инструмент вертикально и горизонтально.

Таким образом имеем, что:

$$P_1' = T \cos \theta + N \sin \theta = T \left(\cos \theta + \frac{\sin \theta}{\operatorname{tg} \gamma} \right),$$

$$P_2' = N \cos \theta - T \sin \theta = T \left(\frac{\cos \theta}{\operatorname{tg} \gamma} - \sin \theta \right).$$

Изменяя θ в четверти AOB (рис. 550), получаем:

При $\theta = 0$:

$$P_1' = T \cos \theta = T, \quad P_2' = N \cos \theta = N, \quad \text{откуда} \quad \frac{P_1'}{P_2'} = \frac{T}{N} = \operatorname{tg} \gamma.$$

При приближении θ к 90° :

$$\begin{aligned} P_1' &= N \sin \theta = N, \\ P_2' &= -T \sin \theta = -T, \text{ откуда } \frac{P_1'}{P_2'} = \frac{N}{-T} = -\frac{1}{\operatorname{tg} \gamma}. \end{aligned}$$

При $\theta = 45^\circ$:

$$\begin{aligned} P_1' &= 0,707 (T + N), \\ P_2' &= 0,707 (N - T), \text{ откуда } \frac{P_1'}{P_2'} = \frac{T + N}{N - T}. \end{aligned}$$

При $P_1' = P_2'$:

$$\cos \theta + \frac{\sin \theta}{\operatorname{tg} \gamma} = \frac{\cos \theta}{\operatorname{tg} \gamma} - \sin \theta,$$

откуда:

$$\frac{\sin \theta}{\cos \theta} = \operatorname{tg} \theta = \frac{\frac{1}{\operatorname{tg} \gamma} - 1}{\frac{1}{\operatorname{tg} \gamma} + 1}.$$

$$\text{При } \operatorname{tg} \gamma = 0,5: \operatorname{tg} \theta = \frac{1}{3}, \text{ откуда } \theta = 18^\circ.$$

P_2' становится равным нулю при $T \sin \theta = N \cos \theta$ или при

$$\sin \theta = \frac{\cos \theta}{\operatorname{tg} \gamma}, \text{ откуда } \frac{N}{T} = \frac{\sin \theta}{\cos \theta} = \operatorname{tg} \theta = \frac{1}{\operatorname{tg} \gamma}.$$

При $\operatorname{tg} \gamma = 0,5$: $\operatorname{tg} \theta = 2$, откуда $\theta = 64^\circ$.

Начиная с этого угла, усилие P_2' стремится увлекать изделие, если вращение направлено по стрелке (рис. 550). Если направление вращения обратное или если изделие находится в следующей четверти BOC окружности (рис. 552), то пила приподнимает и отталкивает его.

В этом случае:

$$\begin{aligned} P_1' &= T \cos \theta - N \sin \theta, \\ P_2' &= T \sin \theta - N \cos \theta. \end{aligned}$$

Поясним изменения значений P_1' и P_2' частным примером, изменяя значения θ от 0° до 180° при постоянных значениях T , N и $\operatorname{tg} \gamma$.

Приняв, что $T = 24$ кг, $N = 48$ кг и $\operatorname{tg} \gamma = 0,5$, имеем следующие значения:

Для	$\theta = 0^\circ$	18°	45°	64°	75°	90°	120°	135°	150°	180°
$P_1' =$	24	38	51	53,6	52,3	48	29,2	16,96	— 3,2	— 24 кг.
$P_2' =$	48	38	16,96	0	— 10,74	— 24	— 36	— 51	— 53,5	— 48 кг.

Нанося значения P_1' и P_2' в полярной системе координат (рис. 551), получаем две окружности, диаметры которых соответствуют в масштабе 53,6 кг, проходящие через точку O , перпендикулярно друг к другу. Эти окружности проходят через центр O , при чем диаметр окружности P_2' составляет с вертикалью угол в 64° , а диаметр окружности P_1' — такой же угол с горизонталью.

При подаче изделия в четвертях окружности (рис. 553 — 554), противоположных рассмотренным выше, получаются аналогичные значения для P_1' и P_2' , при чем направления эти противоположны первым.

Если диск толщиной e с числом зубцов z перемещается в горизонтальном направлении с подачей a на один оборот, то нормальное или радиальное проникновение одного зубца (радиальная передняя поверхность зубца (рис. 555), составляет угол θ с горизонталью) при одном обороте будет равняться $a \cos \theta$. Но так как поочередно по

тому же месту проходят и зубцов пилы, то каждый из них снимает в этой точке стружку толщиной равной:

$$e = \frac{a \cos \theta}{z}.$$

При $\theta = 0$, $e = \frac{a}{z}$; при $\theta = 90^\circ$, $e = 0$.

Если допустить, что коэффициент R сопротивления нормальному углублению зубца — величина постоянная во всех точках соприкосновения различных режущих в данный момент зубцов (что имеет место при мягком металле), то усилие p_2' на каждый режущий зубец будет пропорционально углублению e , коэффициенту R_2 и ширине e' пропила, т.-е.:

$$p_2' = ee' R_2 = \frac{e' a \cos \theta}{z} R_2.$$

Соответствующее касательное усилие будет: $p_1' = p_2' \operatorname{tg} \gamma$. Если через R_1 назовем коэффициент сопротивления в направлении касательной, то получим следующее выражение:

$$p_1' = ee' R_1 = \frac{e' a \cos \theta}{z} R_1.$$

Отношение p_1' к p_2' равно:

$$\frac{p_1'}{p_2'} = \frac{R_1}{R_2} = \operatorname{tg} \gamma = \frac{P_1'}{P_2'} = \frac{T}{N}.$$

Для определения значения коэффициентов R_1 и R_2 необходимо принять $\theta = 0$, отчего $P_1' = T$ и $P_2' = N$. Если n'' — число режущих в данный момент зубцов при толщине изделия b'' , будем иметь:

$$n'' p_1' = \frac{n'' e' a}{z} R_1 = P_1' = T,$$

откуда:

$$R_1 = \frac{zT}{n'' e' a}.$$

Точно так же имеем:

$$R_2 = \frac{zN}{n'' e' a},$$

кроме того, из предыдущего видно, что:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{R_1}{R_2}.$$

Расчет потребной энергии.—Так как момент вращения $M = Tr$ то при угловой скорости ω энергия в одну секунду будет:

$$W = Tr\omega = Tr \frac{\pi n}{30} \quad (\text{где } n \text{ — число оборотов в минуту}).$$

Объем снимаемого металла при одном обороте пилы, при толщине изделия b'' равняется:

$$ae' b'',$$

а объем металла, снимаемого в одну секунду, составляет:

$$V'' = ae' b'' \frac{n}{60}.$$

Обозначая через W_1 энергию, отнесенную к единице объема, имеем:

$$W_1 = \frac{W}{V''} = \frac{60Tr\pi n}{30ae'b''n} = \frac{2\pi rT}{ae'b''} = \frac{2\pi r n'' e' a R_1}{ae'b''n} = \frac{2\pi r n'}{nb'} R_1,$$

но так как $n'' = \frac{b''}{p}$ и $z = \frac{2\pi r}{p}$ (где p — шаг зубцов), то:

$$\frac{n''}{z} = \frac{b''}{2\pi r}.$$

Подставляя это значение в уравнение W_1 , получаем, что $W_1 = R_1$ (в алгебраическом значении).

Не следует упускать из вида, что W_1 выражается в кг/мм^3 , а R_1 в кг/мм^2 . Значение W_1 при красном калении железа и стали может изменяться от 0,1 до 0,2 кг/мм^3 , откуда R_1 изменяется от 100 и 200 кг/мм^2 .

В уравнении энергии, объем $ae'b''$ снимаемого металла при одном обороте пилы независим от положения изделия в точке A , B или C (рис. 556), так как e' — величина постоянная, а заштрихованные поверхности ab'' равны.

Если циркулярная пила вращается электромотором, то затрачиваемую мощность W в ваттах можно рассчитать по формуле $W = \text{вольты} \times \text{амперы}$, по показаниям инструментов на моторном щите. Таким образом, имеем

$$W_1 = \frac{W}{V''}.$$

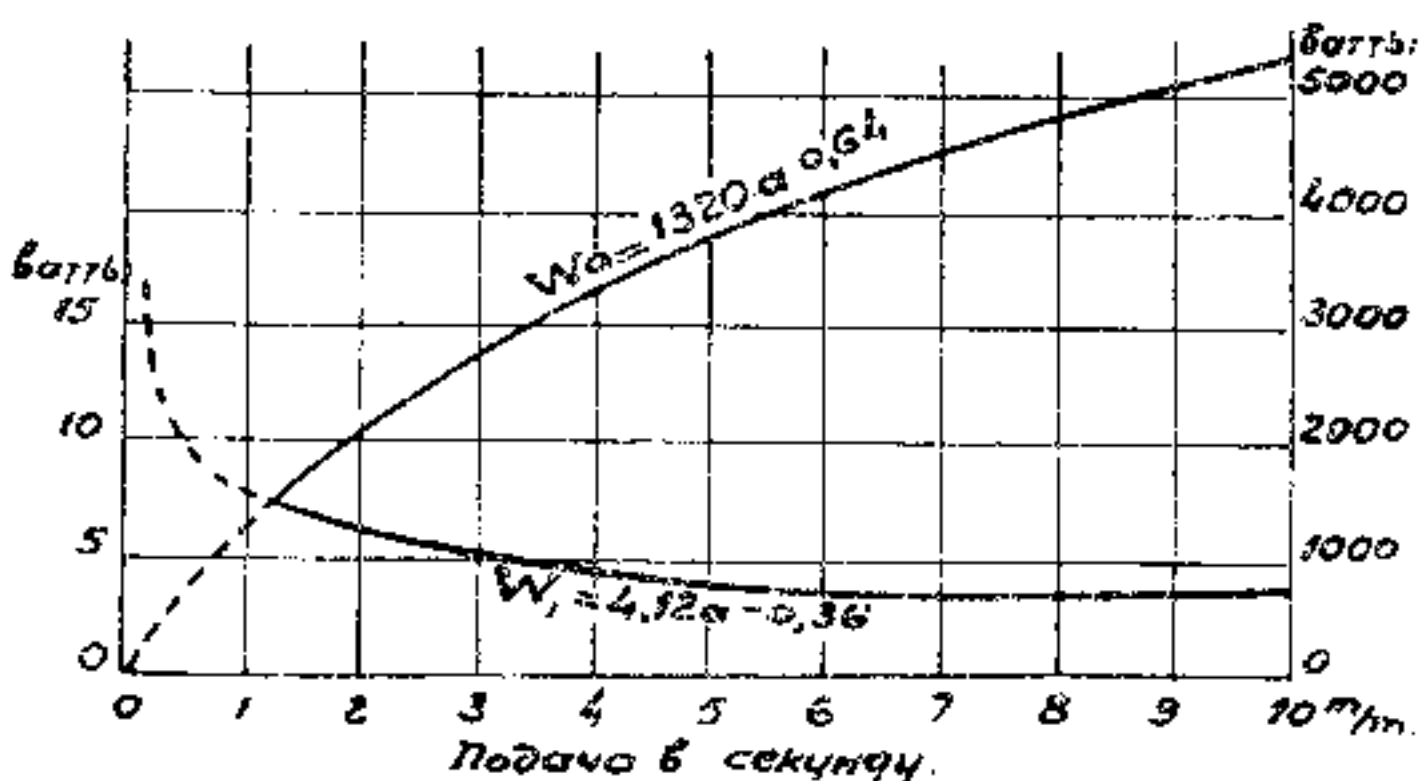


Рис. 556.

По полной затрате энергии W можно рассчитать полезно-затрачиваемую энергию. Для этого из полной затраты энергии надо вычесть затрату энергии при холостом ходе пилы.

Затрата энергии для вращения пилы диаметром 1,00 м при 1600 оборотах в минуту может колебаться между 1800 и 2500 ваттами при передаче ремнем; последний не следует слишком перетягивать.

Мы произвели целый ряд опытов с железом при красном калении, т.-е. при температурах от 780° до 800° , при переменных подачах a пилы диаметром 1,0 м и толщиной 5 мм, дающей ширину реза в 6 мм, делающей 1600 оборотов в минуту, т.-е. при скорости на окружность $v = 80$ м/сек. Пила вращалась электромотором в 120 вольт и 100 ампер. При опыте резания квадратного бруска в 40 мм в стороне была построена кривая W_a (рис. 556) значений полезной затраты энергии, принимая за абсциссы скорость подачи в одну секунду. Кривая W_1 представляет изменения выражения $4,12a^{0,36}$ в ваттах. Обе кривые удовлетворяют соответственно уравнениям:

$$W_a = 1320 a^{0,64} \text{ и } W_1 = 4,12 a^{0,36}.$$

Отсюда видно, что значение W_1 изменяется с температурой металла, которую, однако, трудно точно установить. Тем не менее

приведенные выше зависимости дают достаточные указания для того общего случая, когда изделие выходит из прокатного стана. Они также применимы к стальным брускам, которые требуют при пилке не большей затраты энергии, чем железо при тех же температурах.

Значения W_1 , выраженные в ваттах или $кг/м$, позволяют рассчитать энергию, затрачиваемую на пилку изделия данного сечения.

Возьмем в виде примера стальной брусок квадратного сечения в 100 мм в стороне, распиливаемый в течение 10 секунд пилой, диаметром 1,00 м, со 128 зубцами, с шагом 24,53 мм, делающей рез шириной $e' = 6$ мм при скорости на окружности в 75 м/сек.

Расчет дает следующие результаты:

Распиливаемая поверхность в секунду	$S = \frac{100 \times 100}{10} = 1\,000 \text{ мм}^2$
Средняя подача в секунду	$\frac{100}{10} = 10 \text{ мм}$
Число рабочих зубцов в секунду	$\frac{75}{0,02453} = 3\,000 \text{ зубц.}$
Число оборотов в минуту	$n = \frac{60 \times 75}{3,14 \times 1} = 1\,430 \text{ обор.}$
Максимальная толщина стружек	$e' = \frac{10}{3\,000} = 0,0033 \text{ м} = 3,3 \text{ мм}$
Объем снимаемого металла в секунду	$V'' = Se' = 1\,000 \times 6 = 6\,000 \text{ мм}^3$
При $W_1 = 0,15 \text{ кг/м}$ на $мм^3$ и при температуре от 700° до 800° полезная мощность будет	$W = 6\,000 \times 0,15 = 900 \text{ кг/м или 12 лощ. сил}$
Припуская коэффициент полезного действ. пилы равным 70%, полная потребляемая мощность равняется	$\frac{12}{0,70} = 17 \text{ лощ. сил}$
Касательное усилие	$T = \frac{W}{v} = \frac{900}{75} = 12 \text{ кг}$
При $tg\gamma = 0,5$ нормальное давление равняется	$N = \frac{12}{0,5} = 24 \text{ кг}$

Горизонтальное давление P_2' больше или меньше 24 кг, в зависимости от значения $tg\gamma$.

Можно видеть, что значения T и N невелики. При продолжительности операции в 5 секунд эти усилия удваиваются, так же как и затрата энергии. Расчитаем еще данные для разрезки стальной болванки с сечением 250×400 мм, со скоростью 4 000 мм² в секунду, пилой диаметром 1,50 м, при скорости $v = 80$ м/сек, при числе зубцов 192, с шагом в 30 мм и шириной реза 8 мм.

Продолжительность операции	$\frac{250 \times 400}{4\,000} = 25 \text{ сек}$
Подача	$\frac{400}{25} = 16 \text{ мм/сек.}$

Объем снимаемого металла в секунду $V'' = Se' = 4\,000 \times 16 = 64\,000 \text{ мм}^3$.

При $W_1 = 0,10 \text{ кг.м}$ и температуре от 800 до 900° полезная затрата энергии будет:

$$W = V'' W_1 = 64\,000 \times 0,1 = 6\,400 \text{ кг.м,}$$

или 80 лощ. сил.

При коэффициенте полезного действия в 70% полная потребная мощность будет $\frac{86}{0,70} = 122$ лош. силы, — величина значительная, которую можно сократить, уменьшая скорость работы.

Касательное усилие равно:

$$T = \frac{W}{v} = \frac{6\,400}{80} = 80 \text{ кг.}$$

При $\operatorname{tg} \gamma = 0,5$ нормальное давление $N = \frac{80}{0,5} = 160 \text{ кг.}$

В зависимости от рабочего положения пилы, давление подачи P_2' может колебаться между 0 и 160 кг. Эти усилия ниже тех, которые можно было бы предполагать.

Число рабочих зубцов в секунду	$\frac{80}{0,030} = 2\,666$
Максимальная толщина стружки	$\frac{16}{2\,666} = 0,006 \text{ мм}$

Трудно себе представить такую ничтожную толщину стружек, разлетающихся от пилы в количестве свыше 2 600 в секунду и производящих целый сноп искр, поражающих зрителя не привыкшего к такой операции. Ясно, что пилу необходимо окружать предохранительным кожухом, а пильщиков снабжать предохранительными очками.

Врезание зубцов.— Врезание зубцов может вызвать мгновенную остановку пилы. Такая остановка может повлечь за собой более или менее серьезные повреждения, не только вследствие ненормального усилия крутящего момента, но также и от удара, производимого всей энергией, скопленной во вращающихся с большой скоростью частях. При этом может получиться момент вращения больший или равный моменту вращения приводного ремня.

Поэтому не следует ставить ни слишком прочного ремня, ни слишком натягивать его, чтобы ограничить максимальный момент вращения, могущий возникнуть при более или менее резкой остановке циркулярной пилы.

То же самое получается и при слишком быстрой подаче. Удар можно предупредить переставляя рычаг сцепления винтом, а не вручную. При пуске в ход один из промежуточных трансмиссионных ремней должен скользить по одному из своих шкивов.

Если пила приводится в действие электромотором, не следует быстро переставлять рукоятки пускового реостата, так как в противном случае перегорят предохранители и, кроме того, может соскочить промежуточный ремень ¹⁾.

Живая сила пилы при резке горячего металла.— Интересно познакомиться с усилиями, получающимися от живой силы в момент быстрой остановки или при быстром пуске машины в ход.

¹⁾ В течение наших опытов пилки эти явления вызывались умышленно или происходили естественным путем. Они сейчас же обращали внимание наших студентов-операторов. Благодаря амперметру операторы могли в каждый данный момент замечать более или менее значительное колебание энергии, в зависимости от быстроты поворота рукоятки реостата.

Энергию, скопленную в диске с радиусом r , толщиной e , плотностью δ , вращающемся с угловой скоростью $\omega = \frac{\pi n}{30}$, можно рассчитать, принимая элемент диска (рис. 557) $y \cdot dx \cdot dy \cdot e$. Живая сила его равняется:

$$\frac{y \cdot dx \cdot dy \cdot e \cdot \delta}{g} \times \frac{\omega^2 y^2}{2},$$

что дает полную энергию:

$$W = \frac{e\delta\omega^2}{2g} \int_0^{\pi} dx \int_0^r y^2 dy = \frac{e\delta\omega^2}{2g} 2\pi \frac{r^4}{4} = \frac{\pi e\delta}{4g} v^2 r^2,$$

(где v —скорость на окружности). При $e = 0,005$, $\delta = 7\,700$, $r = 0,50$, $g = 9,81$, $n = 1\,500$, $\omega^2 = \left(\frac{3,14 \times 1\,500}{30}\right)^2$.

Расчитывая, получаем, что $W = 4\,700$ килограмметрам.

Принимая же во внимание массы дисков, вала и шкива, скопленная во вращающихся массах энергия будет равняться около 5 000 кг.м.

Это чрезвычайно большое значение показывает, что машину весьма важно разгонять постепенно, в течение нескольких секунд, так как в противном случае получается скольжение и возможно сбрасывание ремня.

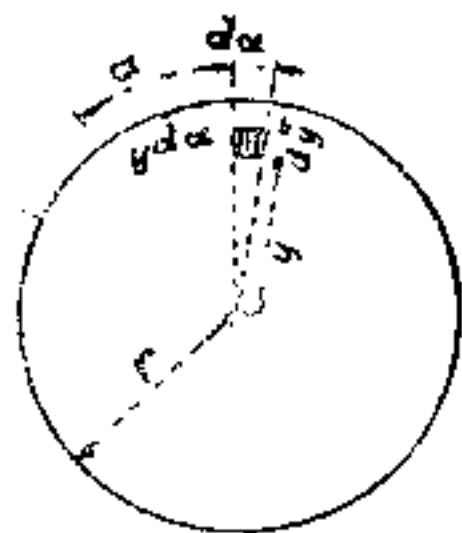


Рис. 557.

При нормальной остановке машины пила продолжает еще вращаться в течение нескольких минут. По продолжительности вращения пилы до полной ее остановки можно судить о правильности работы отдельных частей машины, о достаточности смазки, а также о появлении ненормального трения.

Допустим, что остановка или пуск в ход и разгон машины до развития 1 500 оборотов в минуту требуют всего только 5 оборотов. Усилие торможения изделия, принимая его за величину постоянную, в случае остановки будет:

$$F = \frac{5\,000}{3,14 \times 1,00 \times 5} = 320 \text{ кг.}$$

Усилие на шкиве в момент пуска в ход равно:

$$F' = \frac{5\,000}{3,14 \times 0,300 \times 5} = 1\,050 \text{ кг.}$$

Усилие 320 кг можно считать вполне нормальным, чего нельзя сказать относительно усилия в 1 050 кг, при котором ремень будет скользить по шкиву.

Однако, при заедании зубца остановка может произойти на протяжении меньше одного оборота и усилие F может превысить $320 \times 5 = 1\,600$ кг, угрожая поломкой зубцов. Что касается ремня, то последний может передавать только максимальное усилие, соответствующее усилию трения на шкиве, и потому не может передать момента вращения, способного вызвать поломку вала пилы.

Поэтому необходимы надежные приспособления, предупреждающие заедания пилы. Это достигается уменьшением подачи и переме-

щением изделия к зубцам таким образом, чтобы $tg\gamma$ получил достаточное значение, при котором не произошло бы увлечение изделия под пилу.

Однако, возможна поломка вала пилы между диском и ближайшим подшипником в случае заедания в подшипниках от нагревания шеек. Такая поломка пилы диаметром в один метр произошла во время наших опытов.

Допуская, что остановка пилы произошла на протяжении двух оборотов и принимая момент торможения за постоянную величину, получим его значение:

$$M = \frac{W}{2\pi n} = \frac{5000}{2 \times 3,14 \times 2} = 397 \text{ кг. м.}$$

что соответствует усилию на окружности $P = \frac{M}{r} = \frac{397}{0,5} = 794 \text{ кг.}$ Так как диаметр шейки вала $d = 50$, то момент сопротивления сечения кручению равен:

$$\frac{R\pi d^3}{16} = M = 397,$$

что дает реакцию на единицу сечения:

$$R = \frac{16 \times 397}{3,14 \times 0,050^3} = 16\,200\,000 \text{ кг/м}^3 = 16,2 \text{ кг/мм}^2.$$

Получилась значительная величина, которая, однако, может быть еще выше, если остановка произойдет быстрее, нежели на 2 оборотах вала.

Пуск в ход с умеренной скоростью. (Умеренный разгон). — Допуская, что движущая сила действует в течение 20 секунд, при постоянном ускорении a до достижения установившейся скорости $v = 78,50 \text{ м}$, получим величину ускорения:

$$a = \frac{v}{t} = \frac{78,50}{20} = 3,925 \text{ м/сек.}$$

Путь, пройденный точкой окружности, равен:

$$e = \frac{at^2}{2} = \frac{vt}{2} = \frac{78,50 \times 20}{2} = 785 \text{ м.}$$

Соответствующее число оборотов равняется:

$$n = \frac{at^2}{2 \times 2\pi r} = \frac{785}{2 \times 3,14 \times 0,50} = 250 \text{ об. мин.}$$

Таким образом, диск будет вращаться со скоростью 1500 оборотов в минуту.

Усилие на окружности в момент пуска в ход: $\frac{W}{e} = \frac{5000}{785} = 6,4 \text{ кг.}$

Касательное усилие на шкиве диаметром 0,300 м равняется $\frac{6,4 \times 1,00}{0,300} = 21,3 \text{ кг}$, тогда как максимальное усилие натяжения ремня будет от 50 до 60 и более килограммов.

Касательное усилие меньше такого же усилия, развиваемого при полной нагрузке, т.-е. при максимальной мощности, соответствующей сечению ремня в $100 \times 6 = 600 \text{ мм}^2$ при натяжении R (при $0,4 \text{ кг/мм}^2$), равном $600 \times 0,4 = 240 \text{ кг}$.

Энергию, скопляющуюся в конце следующих друг за другом секунд, можно вычислить по уравнению:

$$W = \frac{\pi e_0^2}{4g} v^2 r^2 = \frac{\pi e_0^2}{4g} a^2 t^2 r^2 = k t^2 = 12,5 t^2.$$

Энергия, скопляемая между каждыми двумя секундами, возрастает равномерно, и скорость нарастания ее выражается уравнением:

$$\frac{dW}{dt} = 2kt = 25t.$$

Точно так же обстоит дело и с возрастанием числа оборотов; быстрота возрастания их равняется:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{2at}{4\pi r} = \frac{v}{2\pi r} = 2 \times 3,14 \times 0,50 = \frac{3,925t}{3,14} = 1,25t.$$

Таким образом, для разных значений t получаем результаты приводимые в следующей таблице:

	<i>t</i> в секундах			
	5	10	15	20
v (метры)	19,60	39,25	58,85	78,5
W (кг. м)	312,50	1250	2812	5000
$\frac{Wd}{dt}$ (кг. м)	125	250	375	500
e (метры)	49	196	443	785
n (об. в мин.)	15,6	62,5	140,6	250
$\frac{dn}{dt}$ (об. в мин.)	6,25	12,5	18,75	25

Эти значения изображены графически на рис. 558. Не следует забывать, что затрата энергии гораздо больше энергии, скопляющейся

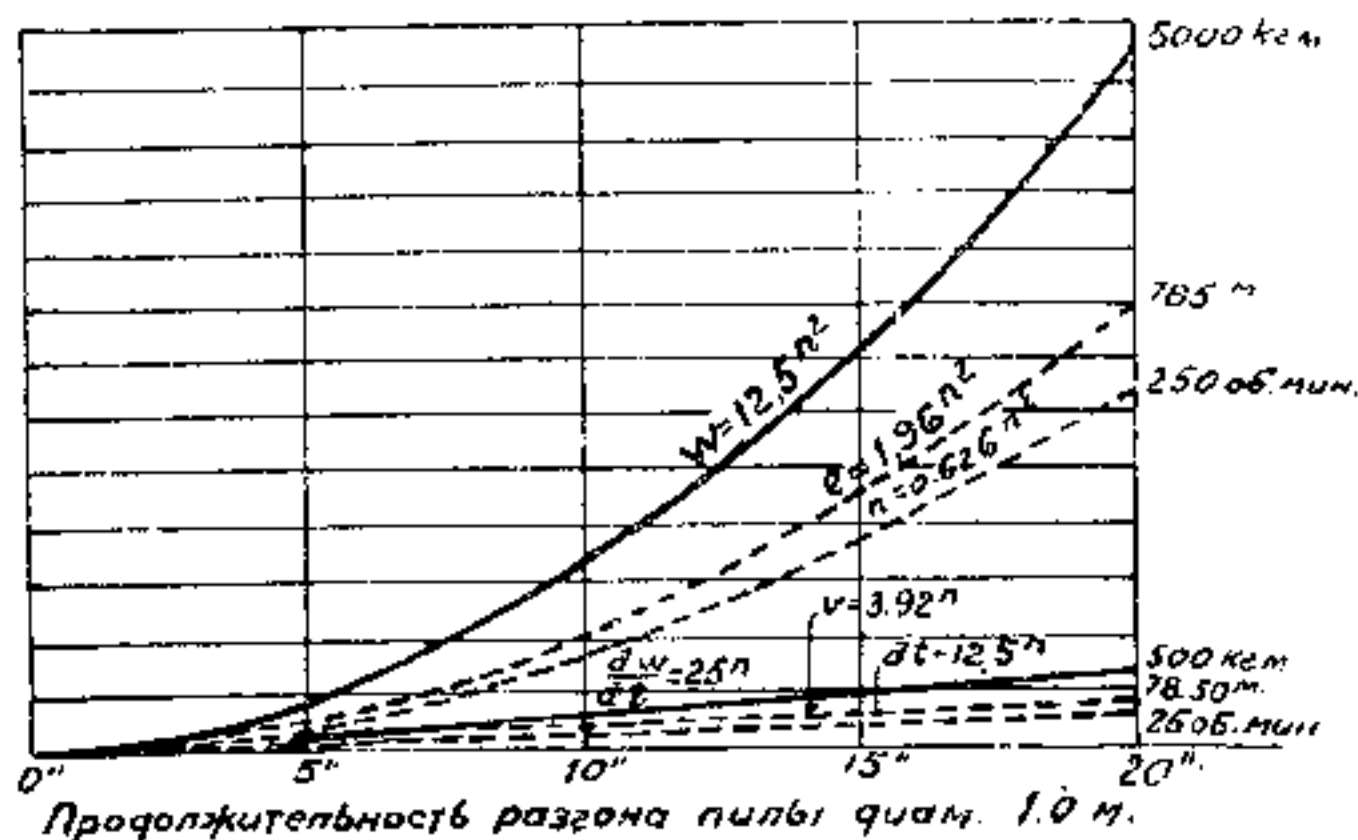


Рис. 558.

в диске пилы, не только вследствие трений в приводных механизмах, но также и вследствие сопротивления воздуха, которым при больших скоростях нельзя пренебрегать. Приводные механизмы при холостом

ходе требуют довольно большой затраты энергии, которую можно рассчитать при различных установившихся скоростях.

Энергия W выражается уравнением:

$$W = \left(\frac{\pi r^2 e \delta}{2g} \right) \frac{v^2}{2},$$

которое показывает, что живая сила диска равняется половине энергии его массы, сконцентрированной на расстоянии r от центра.

При диске радиусом y при принятых выше значениях получаются следующие результаты:

$$W_r = \frac{\pi e \delta \omega^2}{4g} y^4 = \frac{3,14 \cdot 0,005 \times 7700}{4 \cdot 9,81} 157^2 y^4 = 76000 y^4$$

и

$$\frac{dW}{dy} = 304000 y^3.$$

При разных значениях y получаем:

y (метры) —	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70
W (кг.м) ==	7,6	122	616	1940	4760	9820	18220
$\frac{dW}{dy}$ (кг.м) ==	304	2432	8200	19400	41000	65300	104000

Эти значения, изображенные графически на рис. 559, показывают быстрое возрастание W с увеличением радиуса диска, начиная с 0,40 м. и показывают насколько важна постепенность разгона крупной пилы, как, например, пилы диаметром 2,00 м и толщиной 10 мм при горячей резке металла.

Холостой ход пилы при разных скоростях. Мы заинтересовались элементами холостой работы пилы диаметром 1,00 м при различных скоростях. Пила приводилась в действие электромотором посредством ременной передачи со ступенчатыми шкивами различных диаметров.

Мы определим затраты энергии в секунду.

1) Одним электромотором, который затрачивал 7 ампер при 120 вольтах, т.-е. 840 ватт.

2) Этим же мотором и приводным ремнем к валу пилы.

3) Электромотором и валом с монтированной на нем пилой.

Мы получили следующие результаты;

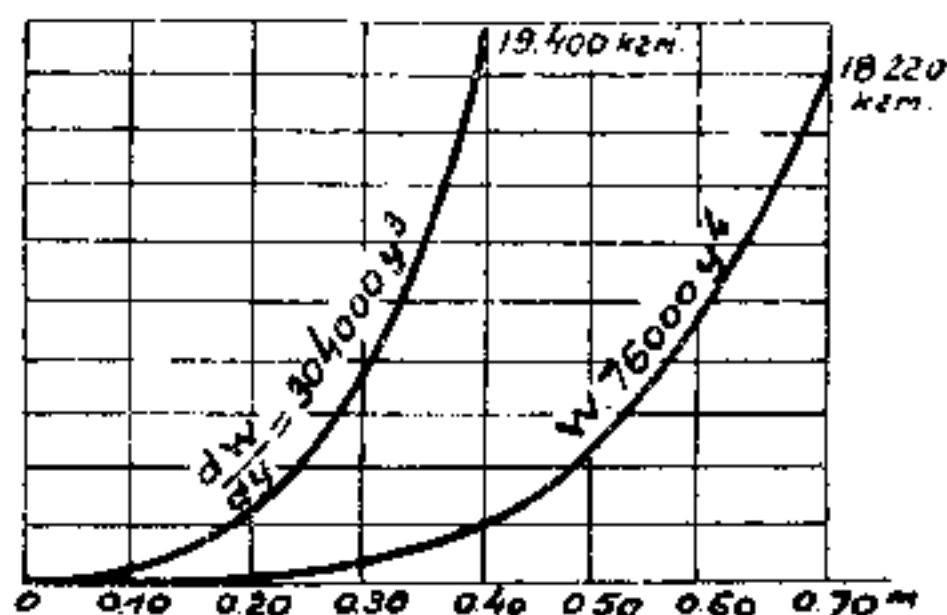


Рис. 559.

Энергии при разных условиях работы	Число оборотов в минуту				
	500	1000	1500	2000	3000
в а т т ы					
Энергия без диска	120	360	720	1200	2640
„ с диском диаметр. 1,00 м	360	960	3000	5160	11520
„ вращения одного диска диаметром 1,00 м	240	600	2280	3960	8880
„ с диском диаметром 0,50 м	—	480	960	1620	3600
„ одного диска диаметром 0,50 м	—	120	240	420	960

На диаграмме (рис. 560) изображены результаты опытов с диском диаметром 1,00 метр.

Затрата энергии самим электромотором без ремня в пределах произведенных опытов равнялась:

$$W = 0,001284 n^2 \text{ (где } n \text{ — число оборотов в минуту).}$$

Для вала с фланцами, но без пилы, затрата энергии будет:

$$W = 0,0003 n^2,$$

а для одного диска пилы:

$$W = 0,000984 n^2.$$

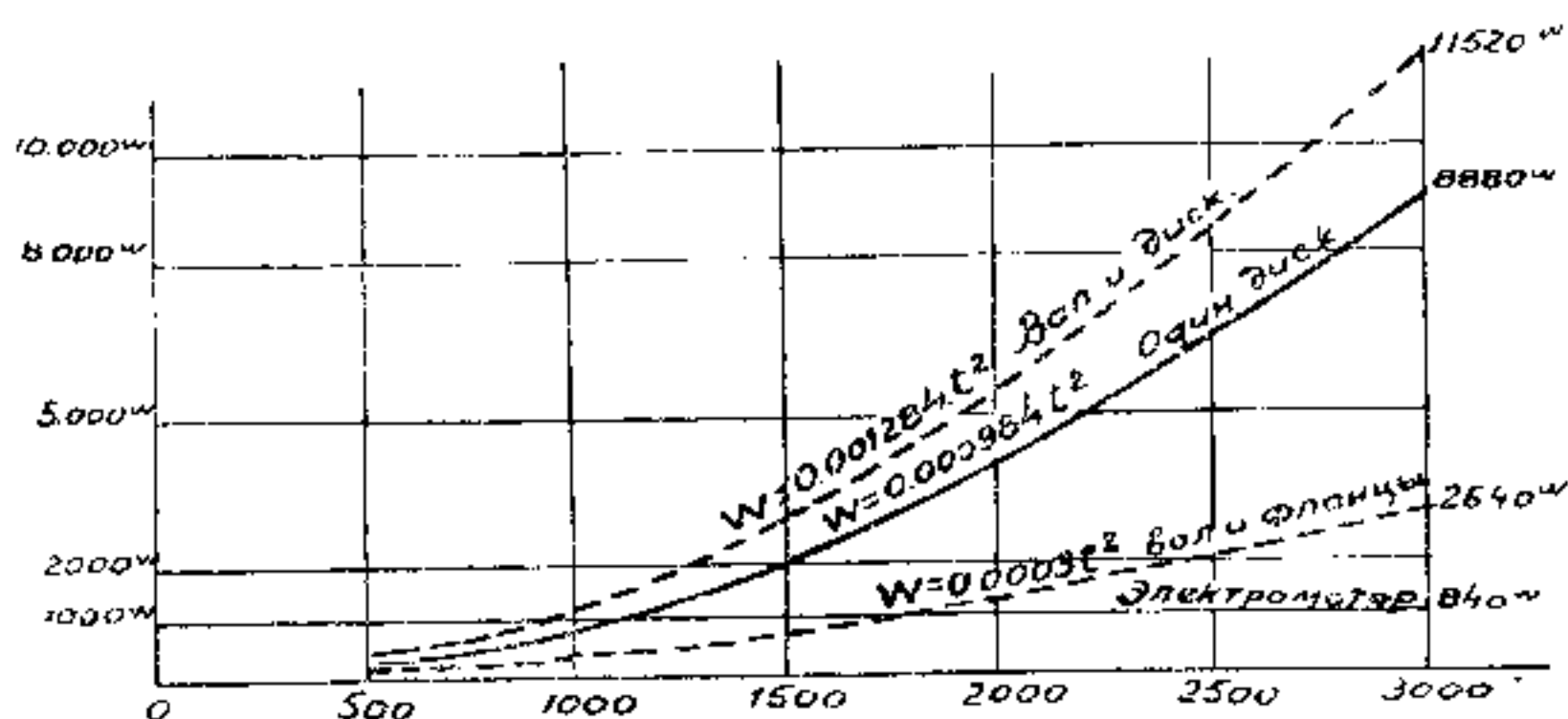


Рис. 560.

Диаметр пилы точно так же имеет большое значение, как то можно видеть по диаграмме (рис. 561), так же как и по зависимостям, в которые входит d ($2y$) в третьей степени.

Сопротивление диска при большой скорости вращения. — Точно так же интересно выяснить, насколько можно опасаться разрыва диска, обладающего большой угловой скоростью ω . Это можно выяснить, рассчитывая касательные усилия R' , нормальные напряжения R'' и равнодействующие R , развивающиеся при вращении.

Можно воспользоваться следующими зависимостями д'Анспаха (d'Anspach), в которых:

r_1 — радиус окружности,

r_0 — радиус центрального отверстия

диска,

y — произвольный радиус,

R'_1, R'_0, R'_y — касательные напряжения на окружностях с вышеуказанными радиусами,

R''_y — нормальное напряжение на конце радиуса y ,

R_y — равнодействующее напряжение для R'_y и R''_y ,

n — число оборотов в минуту,

$\omega = \frac{\pi n}{30}$ — угловая скорость в сек, δ — плотность металла.

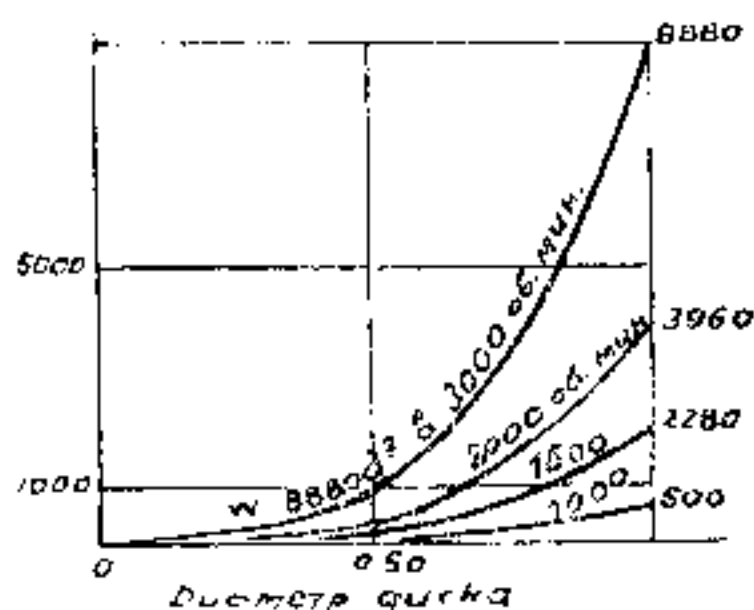


Рис. 561.

$$a = \frac{r_0}{r_1}, \quad b = \frac{2\omega^2 r_1^2}{16g}.$$

$$(1) \dots \dots \dots R'_1 = b \left(\frac{3}{1} + \frac{10a^2}{1} - \frac{13a^4}{a^2} \right),$$

$$(2) \dots \dots \dots R'_o = b \left(\frac{13}{1} - \frac{10a^2}{1} - \frac{3a^4}{a^2} \right),$$

$$(3) \dots \dots \dots R'_y = \frac{R'_o}{2} \left(1 + \frac{r_o^2}{y^2} \right) - \frac{\delta \omega^2}{32g} \left(7y^2 - 3 \frac{r_o^4}{y^2} - 10r_o^2 \right),$$

$$(4) \dots \dots \dots R'_v = R'_o - R'_y - \frac{5}{8} \frac{\delta \omega^2}{g} (y^2 - r_o^2),$$

$$(5) \dots \dots \dots R'_y = R'_v + \frac{R'_y}{4}.$$

При $y = r_1$ и $y = r_o$ свободные поверхности дают:

$$R'_o = 0, \quad R'_1 = 0,$$

вследствие чего

$$R_o = R'_o, \quad R_1 = R'_1.$$

Отношение $a = \frac{r_o}{r_1}$ для зубчатых дисков незначительно. например, для диска диаметром 1,00 метр, оно равняется $\frac{25}{500} = 0,05$. Поэтому в формулах (1) и (2) можно пренебречь значениями a^2 и a^4 . При таком допущении получается вполне достаточная для практики точность:

$$(1) \dots \dots \dots R'_1 = 3b = \frac{3\delta \omega^2 r_1^2}{16g},$$

$$(2) \dots \dots \dots R'_o = 13b = \frac{13\delta \omega^2 r_1^2}{16g} = \frac{13R'_1}{3}.$$

Для железного или стального диска диаметром 1,00 метр при 1500 оборотах в минуту, т.-е. при скорости на окружности равной 78,50 м, зависимости при значениях $r = 0,025$ м и $r_1 = 0,50$ м дают:

$$\omega^2 = \left(\frac{3,14 \cdot 1500}{30} \right)^2 = 157^2 = 24\,649 \text{ и } \delta = 7\,700 \text{ кг},$$

$$R'_1 = \frac{3 \cdot 7\,700 \cdot 24\,649}{16 \cdot 9,81} \cdot 0,25 = 905\,000 \text{ кг/м}^2 = 0,905 \text{ кг/мм}^2,$$

$$R'_o = \frac{13}{3} \cdot \frac{905\,000}{1} = 3\,910\,000 \text{ кг/м}^2 = 3,91 \text{ кг/мм}^2.$$

При любом значении y формулы принимают следующий вид:

$$R'_y = 1\,955\,000 \left(1 + \frac{0,000625}{y^2} \right) - 615\,000 \left\{ 7y^2 - 3 \left(\frac{0,00000158}{y^2} \right) - 10 \times 0,000625 \right\},$$

$$R'_y = 3\,910\,000 - R'_v = 12\,300\,000 (y^2 - 0,000625).$$

Расчеты дают для рассматриваемых значений y следующие результаты:

$y = 0,025$	0,5	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50 м
$R_y^t = 3,91$	2,43	2,03	1,82	1,58	1,29	0,90 кг/мм ²
$R_y^r = 0$	1,46	1,76	1,61	1,21	0,66	0 "
$R_y = 3,91$	2,06	1,59	1,42	1,27	1,23	0,90 "

Изображенные графически, эти значения дают диаграммы (рис. 562).

Максимальное напряжение $R_y = 3,91 \text{ кг/мм}^2$ соответствует радиусу $y = r_0 = 0,025 \text{ м}$, т.-е. действует в отверстие диска.

Максимальное касательное напряжение также имеет место на радиусе r_0 отверстия и равняется $3,91 \text{ кг/мм}^2$. Такое значение не ве-

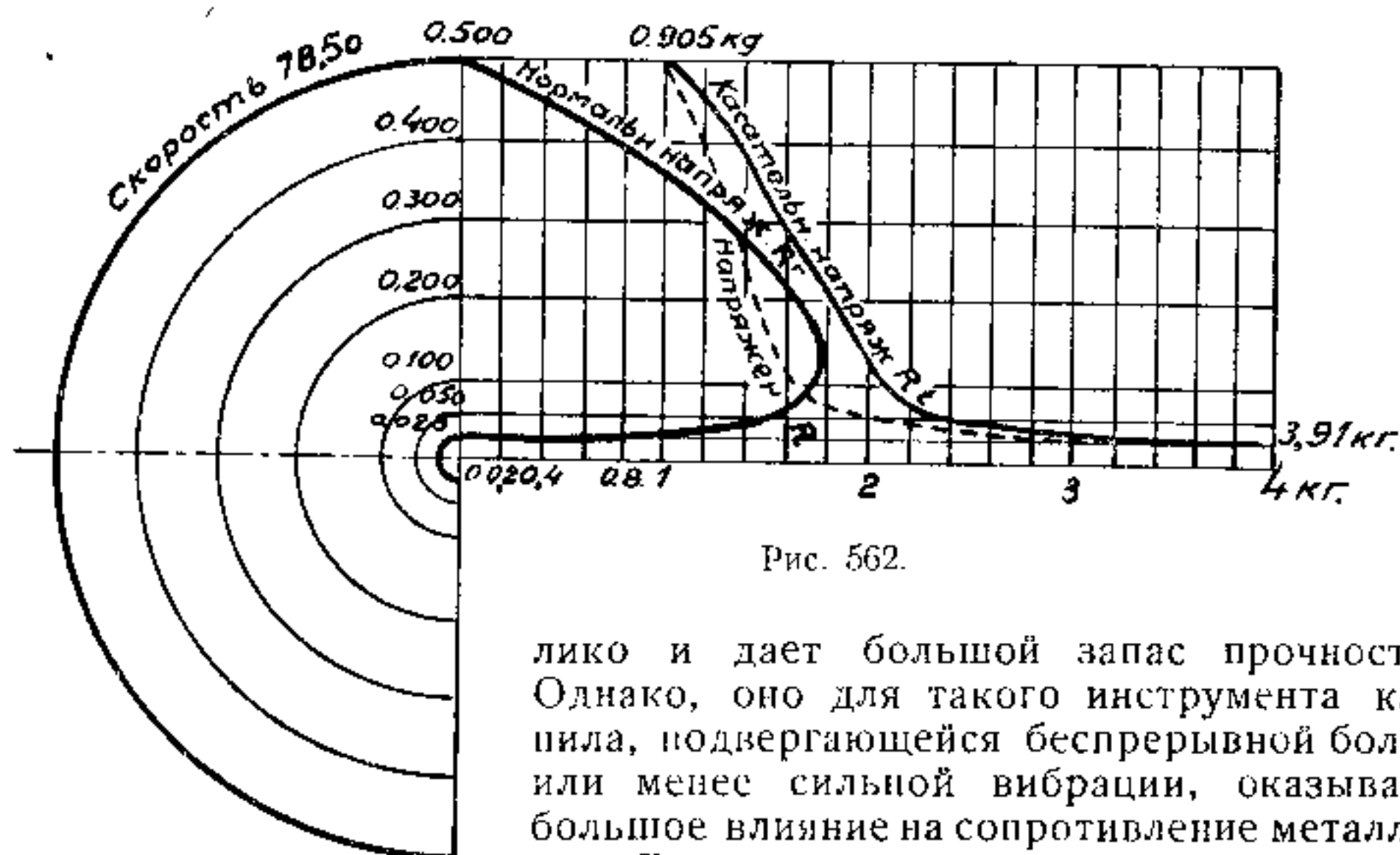


Рис. 562.

лико и дает большой запас прочности. Однако, оно для такого инструмента как пила, подвергающейся непрерывной более или менее сильной вибрации, оказывает большое влияние на сопротивление металла.

Вследствие сильной вибрации, при изготовлении дисков отдают предпочтение железу или мягкой стали перед твердой сталью, так как последняя выдерживает вибрации много хуже, нежели более вязкие металлы.

Тем более непригодны закаленные диски, внутренние напряжения в которых, происходящие от закалки, неизвестны и могут быть очень большими.

Заметим, что все приведенные выше значения пропорциональны ω^2 , т.-е. квадрату угловой скорости, или (что то же) n^2 — квадрату числа оборотов.

Для диска, делающего 3000 оборотов, т.-е. при скорости на окружности в 157 м/сек , наибольшее касательное напряжение вчетверо больше и равняется $3,91 \times 4 = 15,64 \text{ кг/мм}^2$. Это уже большое значение. Однако, так как центральная часть диска подкрепляется установочными фланцами, то максимальное напряжение значительно понижается и диск может вполне выдерживать это число оборотов.

Вне установочных фланцев среднее напряжение можно рассчитать по следующей зависимости:

$$R = \frac{\omega^2}{g} \left(\frac{r^3}{3} - \frac{r'^3}{3} \right),$$

где r — внешний радиус, а r' — радиус фланцев.

Резание гладкими дисками.

Гладкие диски при большой скорости вращения легко режут как холодную, так и горячую железо, мягкие и твердые стали, но с большим трудом режут медь, бронзу, чугун и стеллит.

Диски очень выгодны при холодной резке фасонных полос, рельсов, брусков небольшой и средней толщины, но они мало пригодны для резания изделий большого сечения или большого диаметра. Резание больших диаметров требует очень большой затраты энергии и крупных размеров машин.

Твердая сталь режется так же легко, если не легче мягкой стали. Таким образом, диск является прекрасным инструментом для разрезки на куски брусков и полос быстрорежущей стали, которую в холодном состоянии другие инструменты режут только с большим трудом.

Вполне естественно, что для обрезки заготовок напильников отдают предпочтение диску, так как при обрезке ножницами или зубилом получаются трещины, вызывающие брак.

Конструкция автоматических станков для разрезки полос дисками на куски любой длины не представляет никаких затруднений.

Горячую диск режет металл любой толщины и любого профиля с одинаковой скоростью.

Английские заводы, изготовляющие материал для болтовых и заклепочных соединений, разрезают полосы горячую на куски одинаковой длины дисками, которые в настоящее время совершенно вытеснили ножницы.

Во Франции диском пользуются еще очень мало. В Германии, и в особенности в Америке и Англии, на большинстве машиностроительных и вагоностроительных заводов холодную резку металла производят дисками.

Гладкие диски при разрезании изделий одинакового сечения требуют значительно большей затраты энергии, нежели пилы для горячей резки металла. Особенно повышается затрата энергии при холодном резании, вследствие чего такое резание обходится дорого. Недостатком диска является необходимость сложного привода, тем не менее даваемые им выгоды быстро окупают расходы по установке и по эксплуатации.

Гладкими дисками также широко пользуются на крупных сталелитейных заводах для горячей обрезки болванок, брусков и рельсов, отдавая им предпочтение перед пилами. Последние склонны давать трещины у основания зубьев, вызывающие разрывы или требующие глубокой заточки зубцов, уменьшающей диаметр пилы. Гладкие диски изнашиваются медленнее, дают такие же, если не более, ровные и гладкие отрезы, но требуют большей затраты энергии, вследствие крайнего раздробления частиц металла в пропилах.

Явление, происходящее при резании диском, очень несложное. Трение в месте контакта доводит металл до температуры плавления, после чего частички его легко отделяются и, разлетаясь в сторону, сгорают на лету. Получается чистый обрез, высаживание металла происходит на нижней части пропила, и удаление его не представляет затруднений.

Металл разбрасывается в виде снопа мельчайших искр, направленных, как показано на рисунке 563. Несмотря на то, что диск продолжительное время соприкасается своей окружностью с металлом, обладающим высокой температурой, он нагревается мало. Тем не

менее при продолжительном резании диск следует охлаждать, поливая водой его боковые поверхности или, еще лучше, устраивая в станине машины отверстия для воздуха, который мог бы свободно притекать под действием вращения диска.

Операция облегчается насечкой окружности диска, которая ведет к увеличению $tg \gamma$. Значение последнего без насечки колеблется между 0,15 и 0,25, при насечке же $tg \gamma =$ от 0,25 до 0,40.

При больших круглых сечениях изделий последним придают медленное вращательное движение в направлении, обратном вращению диска, чем достигается большая равномерность реза и предупреждается заедание.

Для резания металла при высокой температуре от 1000 до 1400° необходима очень большая скорость от 80 до 120 м/сек на окружности. При меньших скоростях развивающееся тепло быстро распространяется по всей массе изделия или отливки и по телу самого диска, не оказывая полезного действия, получающегося при превращении механической энергии в тепловую.

Так же как толщина циркулярных или диско-

вых пил, толщина дисков зависит от их диаметра, как то видно из следующей таблички:

Диаметр	0,300	0,500	1,00	2,00 м
Толщина	1,5—2	2—3	4—5	6—8 мм

Диску полезно придавать легкое утолщение по окружности, так чтобы ширина разреза получалась на 0,5—1 мм больше толщины диска, чем избегаются боковые трения о разрезаемый металл.

Для предупреждения быстрого нагревания диска и быстрого изнашивания диаметр его должен быть пропорциональным толщине бруска или отливки. При толщине изделия в 10 мм пригоден диск диаметром в 500 мм, при толщине изделия в 100 мм требуется диск диаметром от 1,3 до 1,5 метра.

Уже в начале прошлого столетия указывалось: „что если вращающийся с громадной скоростью диск из мягкого железа режет самую твердую сталь, то причину этого интересного явления можно приписать только размягчению металла, так как стальная полоса нагревается сильнее железного диска“¹⁾.

¹⁾ Извлечение из статьи Карстера, перевод с немецкого в Manuel de Métallurgie du fer. 2-е изд. Метт. 1830 г. т. I, стр. 53.

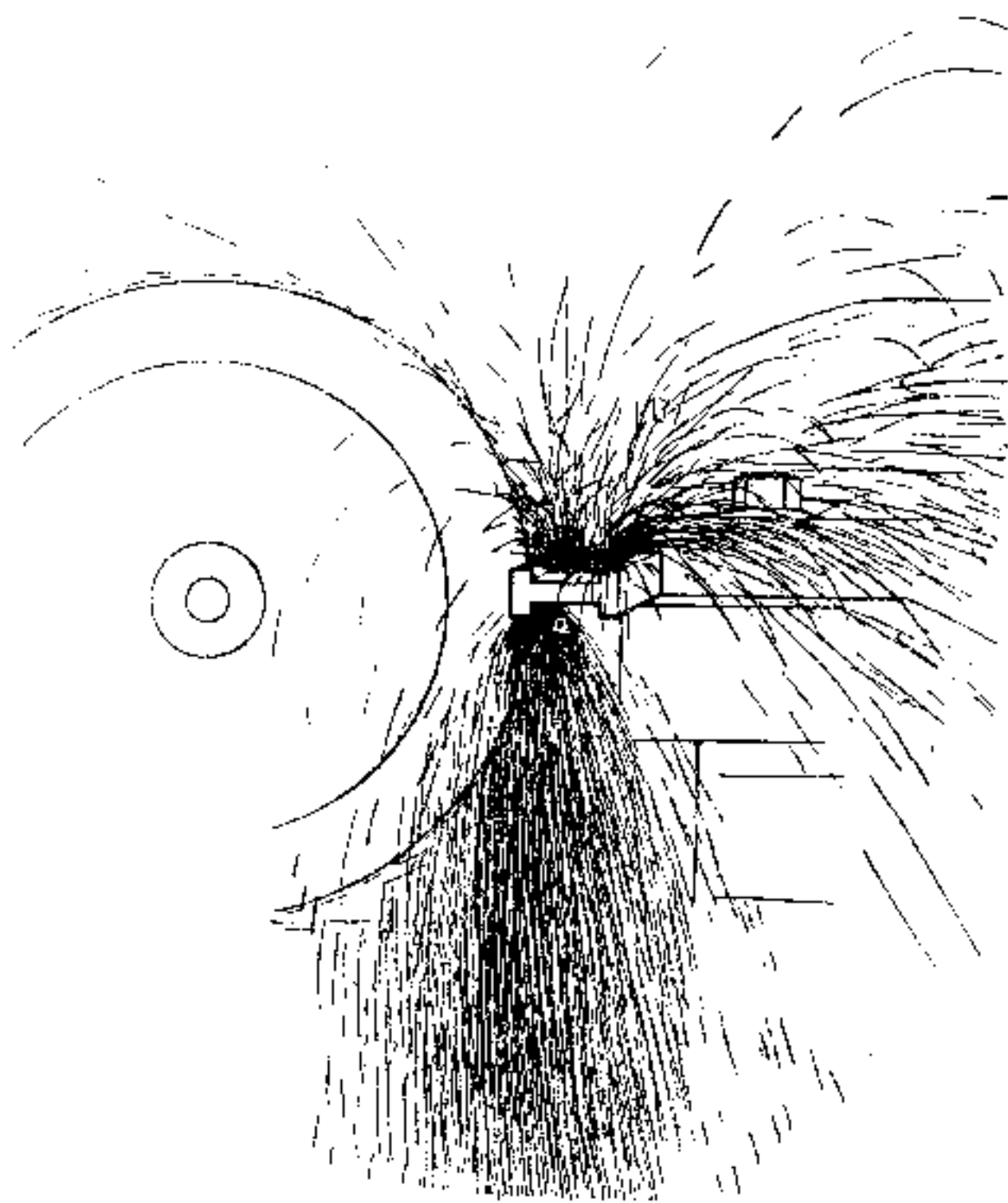


Рис. 563.

Факторы, влияющие на операцию.— Все сказанное относительно зубчатой пилы одинаково приложимо и к гладкому диску.

Значение коэффициентов, выведенных при опытах, позволяет рассчитать полезную энергию, потребную для разрезки изделий данных размеров в определенный промежуток времени, т.-е. при заданной подаче a . Точно так же по располагаемой мощности можно рассчитать толщину изделия при подаче a ; так, энергия равняется:

$$W = W_1 V = W_1 a e' b'',$$

где V объем соответствующий подаче a в сек, e' — ширина реза, b'' — толщина изделия.

Наши опыты показали, что выражение для мощности имеет вид:

$$W = k a^m,$$

подставляя это выражение, получим:

$$W_1 = \frac{W}{a e' b''} = \frac{k a^m}{a e' b''} = \frac{k a^{m-1}}{e' b''}.$$

В каждом отдельном случае надо определить k и m как функции значений, полученных опытным путем.

Энергия W_1 зависит от значения a — подачи в одну секунду. Чтобы одновременно сократить продолжительность работы и затрату полезной и полной энергии, необходимо пользоваться большими подачами.

Кроме того, так как затрата энергии при холостой работе сравнительно значительна, то коэффициент полезного действия при небольших подачах невелик. Для уменьшения затраты энергии вал надо ставить на двухрядные шариковые подшипники.

Для холодной резки железа мы уже имеем, что:

$$W = 5450 a^{0.68} \text{ и } W_1 = 55,5 a^{0.32}.$$

Опыты производились с железом толщиной 14 мм. Диаметр диска равнялся 1,00 м, ширина реза 7 мм, при скорости на окружности

В журнале Engineer 1880 г. приводился как повинка аппарат, действие которого казалось совершенно неправдоподобным, но принцип которого с научной точки зрения представляет громадный интерес.

Этот любопытный аппарат, изобретенный Питтсбургским металлургом Рисом (Reese), состоял из мягкого железного диска, который резал холодную сталь *не касаясь* ее, получающимся при вращении электрическим эффектом и сильной струей воздуха, увлекаемого диском.

Напомним что, диск, применявшийся Рисом, был диаметром 1,100 м, толщиной 5 мм и вращался со скоростью на окружности в 80 метров. Разрезаемый брусок укреплялся на подвижном суппорте. Металл вытекал из разреза каплями, диск совершенно не нагревался, а изделие нагревалось только слегка.

Чтобы выяснить действие этого инструмента мы последовательно доводили диск до скоростей в 30, 50, 80, 100 и 120 м/сек. Во всех случаях мы замечали, что диск касался металла, на что указывала звуковая вибрация, так же, как и разлетающиеся во все стороны раскаленные частицы.

Для достаточно быстрого резания необходима скорость близкая к 100 м/сек. При такой скорости изделие нагревается и металл размягчается быстрее, вследствие чего резание возможно при меньшем давлении подачи. Так, например, чтобы разрезать железную полосу 50 × 15 мм при вишнево-красном калении, достаточно полминуты.

При одном нагреве изделия можно легко делать от пяти до шести резов. Мы исследовали, насколько верно, что электричество является причиной этого явления. Мы констатировали ничтожный электрический ток, вызывавший, смотря по скорости вращения, отклонение стрелки гальванометра от пятнадцати до двадцати делений, т.-е. ток совершенно неспособный вызвать плавление какого-либо металла.

Главной причиной явления, таким образом, было трение. Этот опыт изложен детально в журнале l'Eleve-Ingenieur, 14 апреля 1895.

всего лишь 50 метров. Что касается нормальных усилий N и касательных усилий T , мы нашли, что:

при $a = 1$ мм
 $N = 31,5$
 $F = 10,7$
 $\operatorname{tg} \gamma = 0,34$
 $W = 5450$

3 мм
 75 кг
 22,5 кг
 0,30
 11450 ватт.

Как видно, усилия не велики. Укажем еще что в горячем состоянии, при вишнево-красном калении железа, значения W , значительно меньше, чем при холодном резании, примерно, вдвое. Так мы нашли, что

$$W_1 = 32,7 a^{-0,37}$$

и что при горячем резании пилой того же диаметра, а именно 1,00 м и при той же скорости 50 м, коэффициент W , пилки при вишнево-красном калении понижается до

$$W_1 = 4,12 a^{-0,36}$$

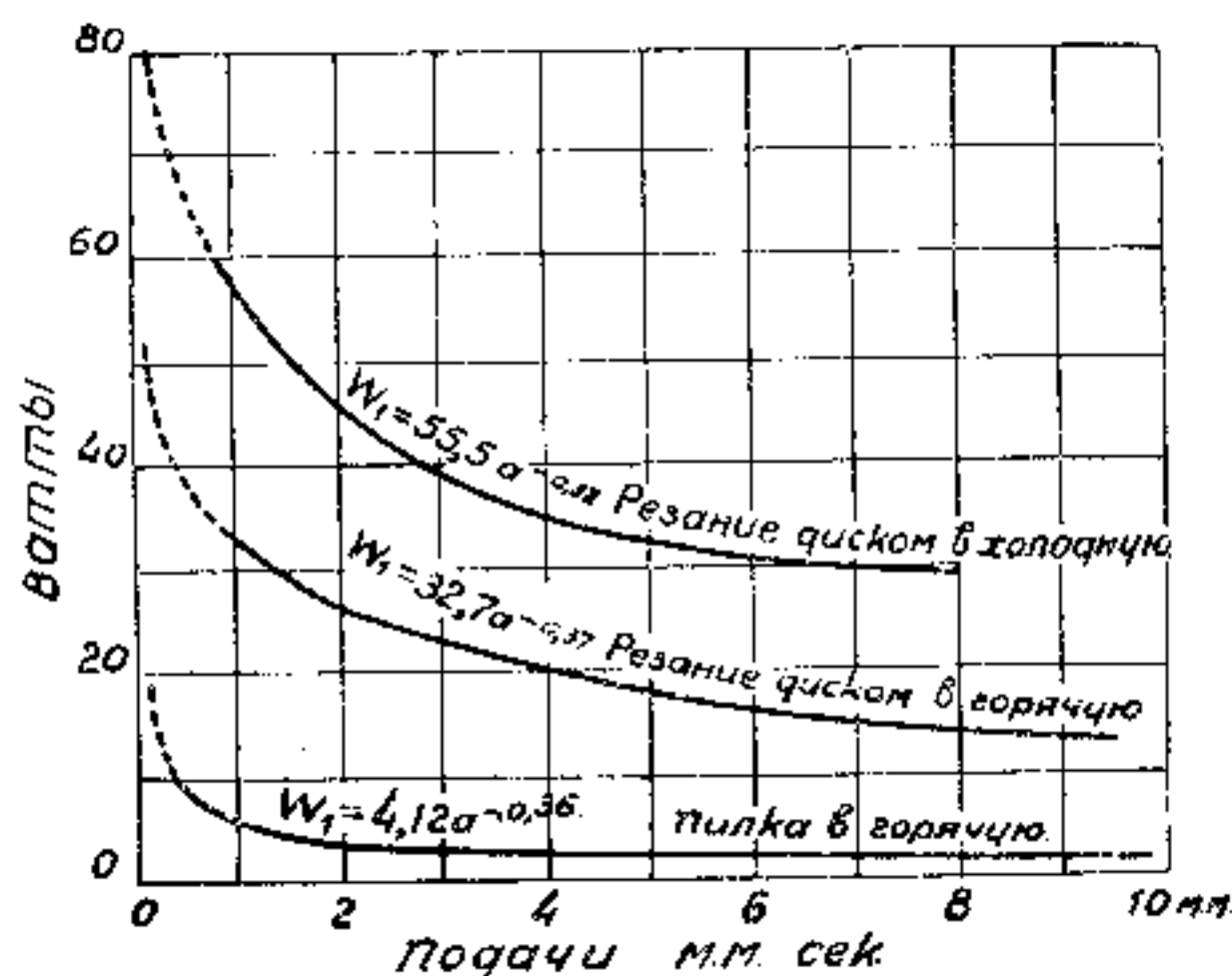


Рис. 564.

диск при той же температуре нагрева и что резание происходит гораздо быстрее, вследствие возможности увеличивать при той же располагаемой мощности величину a подачи.

Таким образом, при	$a = 1$ мм	6 мм
Диск при горячем резании требует	$W_1 = 31$	17 ватт/мм ³
Пила же требует	4	18

Диаграмма (рис. 564) дает возможность сравнить значения энергии W , при холодном резании металлов диском и при горячем резании пилой.

Таким образом понятно, почему на практике для горячего резания металлов предпочитают пользоваться пилой, а не диском. Пила предпочтительна также для резания изделий, которых не нагревают специально для обреза, так же как и для резания изделий, выходящих из прокатного стана.

Зато при разрезке изделий небольшой и средней толщины, которая производится обычно в холодном состоянии прямыми или циркулярными ножницами, диск обладает несомненным преимуществом как с точки зрения быстроты работы, так и с точки зрения ее стоимости. Стоимость при резании пилой очень значительна.

Расчитаем в виде примера элементы резания для болванки сечением 400×20 мм при подаче 5 мм в секунду. Диаметр диска 1,40 м, скорость на окружности 120 м/сек, ширина реза 7 мм.

Объем удаляемого в секунду металла . . . $V = 20 \times 5 \times 7 = 700 \text{ мм}^3$.
 Полезная мощность при $W_1 = 30 \text{ ватт/мм}^3$ $W = 700 \times 30 = 21\,000 \text{ ватт}$.
 При коэффициенте полезного действия в 70% потребная энергия
 будет $\frac{21}{0,7} = 30 \text{ к} \text{ в} \text{ или около } 40 \text{ л. с.}$

Касательное усилие . . . $\frac{21000}{0,81 \times 120} = 18 \text{ кг}$.

Нормальное усилие при $\text{tg } \gamma = 0,25$. . . $\frac{18}{0,25} = 72 \text{ кг}$.

При $\gamma = 45^\circ$, давление подачи будет около 40 кг.

Продолжительность операции . . . $\frac{400}{5} = 80 \text{ сек}$.

Полная затрата энергии на операцию . . . $30 \times 80 = 2400 \text{ к} \text{ в} \text{ h}$.

Переводя полную потребную мощность в киловатт-часы, получаем
 затрату энергии в одну секунду, равную:

$$\frac{2\,400}{3\,600} = 0,66 \text{ к} \text{ в} \text{ h}.$$

Принимая себестоимость киловатт-часа в 5 коп., операция обхо-
 дится в 3,25 коп., т.-е. в ничтожную сумму.

Если требуется разрезать брусок квадратного сечения в $100 \times 100 \text{ мм}$
 в десять секунд, т.-е. при подаче 10 мм в секунду, получаем:
 объем удаленного в секунду металла $V = 7 \times 10 \times 100 = 7\,000 \text{ мм}^3$
 при $W_1 = 25 \text{ ватт}$ $W = 700 \times 25 = 175\,000 \text{ ватт} = 175 \text{ к} \text{ в}$.

При коэффициенте полезного действия 0,70 полная потребная
 мощность будет:

$$\frac{175}{0,70} = 250 \text{ к} \text{ в}, \text{ или около } 300 \text{ лш. сил.}$$

Касательное усилие 150 кг

Нормальное усилие при $\text{tg } \gamma = 25$ 600 „

Давление подачи около 350 „

Таким образом, видно, что при толщине металла свыше 100 мм
 требуется очень мощная машина, а потому лучше уменьшать подачу
 или еще лучше резать вгорячую.

При проектировании машин для резания гладкими дисками можно
 пользоваться следующими средними данными.

Диаметры диска мм	0,300	0,500	0,700	1,00	1,20	1,50
Скорость на окружности м	75	80	90	100	120	140
Число оборотов	4600	3100	2500	2000	2000	1800
Мощность лш. силы	3—4	5—6	15—20	30—40	80—100	150—200
Толщина изделия мм	5—6	6—8	12—15	20—25	30—40	60—100

Машины для резания гладкими дисками.

Машину для резания циркульной пилой ничего не стоит превра-
 тить в машину для резания гладким диском, для этого надо только
 заменить пилу диском из мягкой или очень мягкой стали.

Однако, для холодной резки изделий небольшой толщины лучше
 пользоваться специальными машинами. Несколько моделей таких
 машин завода Барре (Barré) приводится ниже.

На рис. 565—567 изображена небольшая машина с ременным
 приводом, вал которой установлен на шариковых подшипниках. Суп-
 порт, на котором крепится изделие, передвигается ручным рычагом.

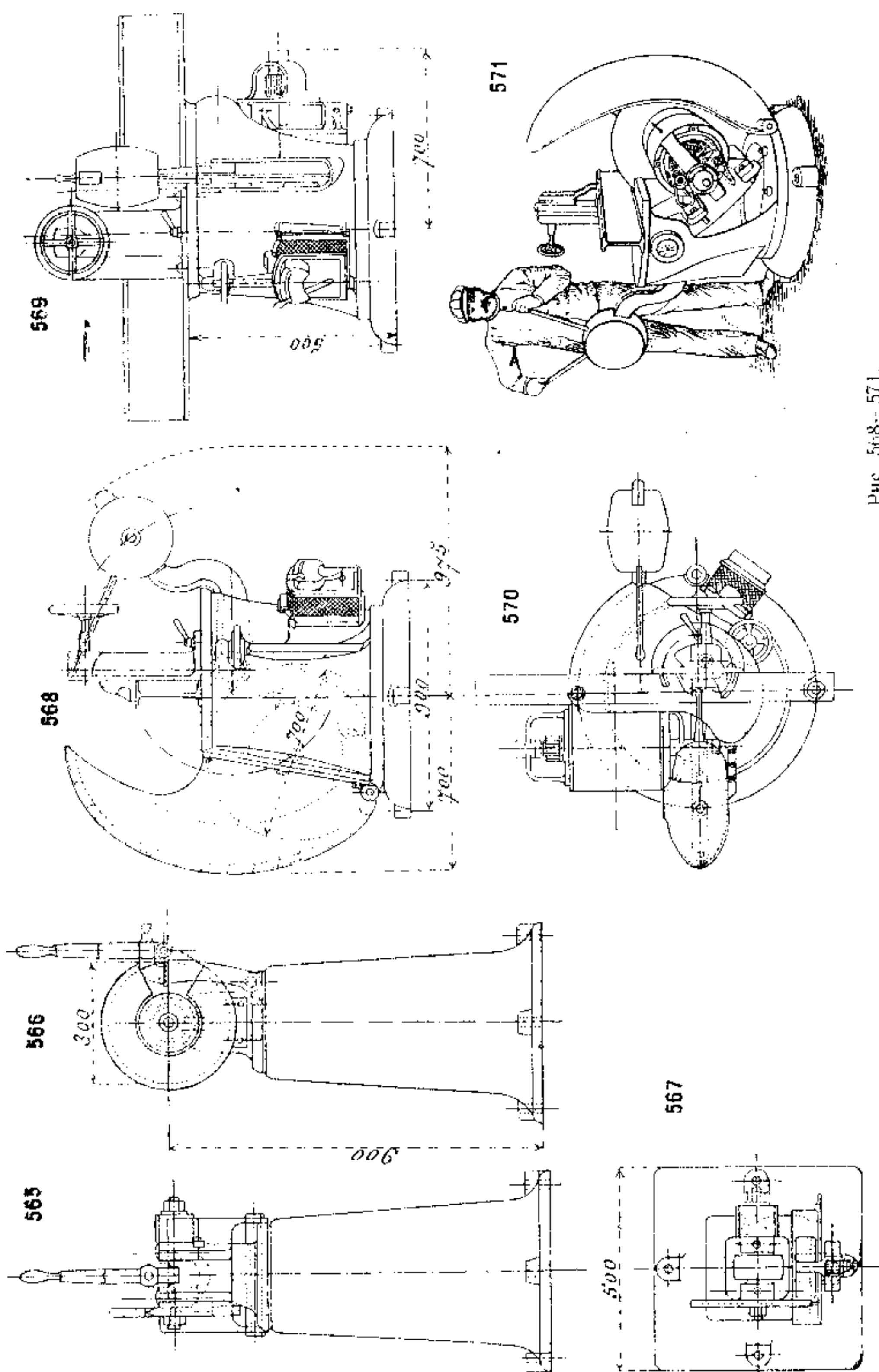


Рис. 568—571.

Рис. 565—567.

На валу надет также наждачный круг диаметром 90 мм и толщиной 70 мм для удаления небольших заусениц, получающихся при разрезке.

Диаметр диска 360 мм, толщина 2 мм, число оборотов в минуту — 5000, мощность 3 лш. силы, толщина разрезаемого металла до 15 мм, вес машины около 180 кг.

Эта машина пригодна для разрезки стальных полос небольшого сечения и применяется в небольших слесарных и инструментальных мастерских. Диск машины, изображенной на рис. 568—571, установлен непосредственно на валу электромотора, соединенного с уравновешенным рычагом, опускающим его после отрезки, а также поднимающим его и развивающим давление во время операции.

Изделие укрепляется к суппорту угольником, зажимаемым винтом. Так как диск можно поворачивать под любым углом в горизонтальной плоскости, то изделие можно резать как поперек, так и под углом к его оси, не изменяя установки.

Мощность мотора 10 лш. сил, диаметр диска 700 мм, толщина диска от 3 до 4 мм, число оборотов 3000 в минуту, вес машины около 2000 кг.

В 50 секунд машина режет полосы сечением в 200×12 мм, в 60 секунд — двутавровую балку размерами $250 \times 110 \times 12$ мм.

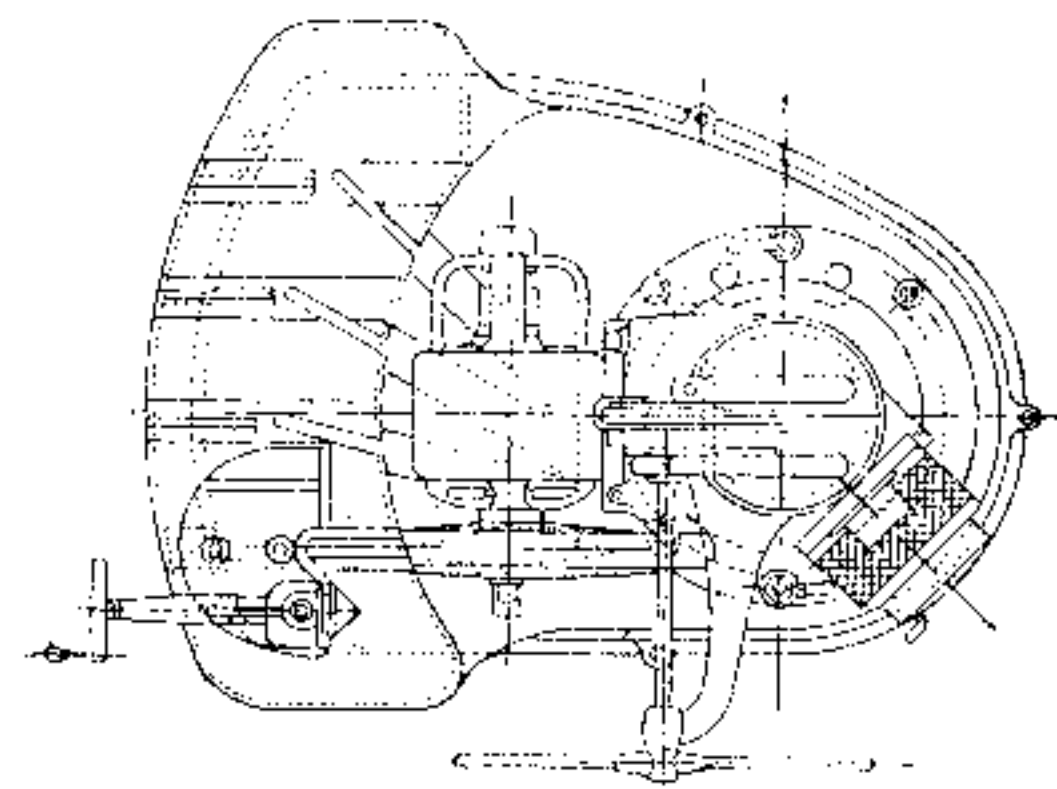


Рис. 573.

Диаметр диска 900 мм, толщина его от 5 до 6 мм, мощность мотора 35 лш. сил, вес машины 4000 кг.

Машина режет квадратные и круглые бруски и полосы диаметром до 60 мм в 50 секунд, трубы диаметром 180 мм, с толщиной стенок в 15 мм, или плоское железо сечением 400×18 мм в 50 секунд, двутавровые балки до 450 мм высотой и 170 мм шириной в 55 секунд. Точно так же она режет рельсы и фасонное железо таких же сечений.

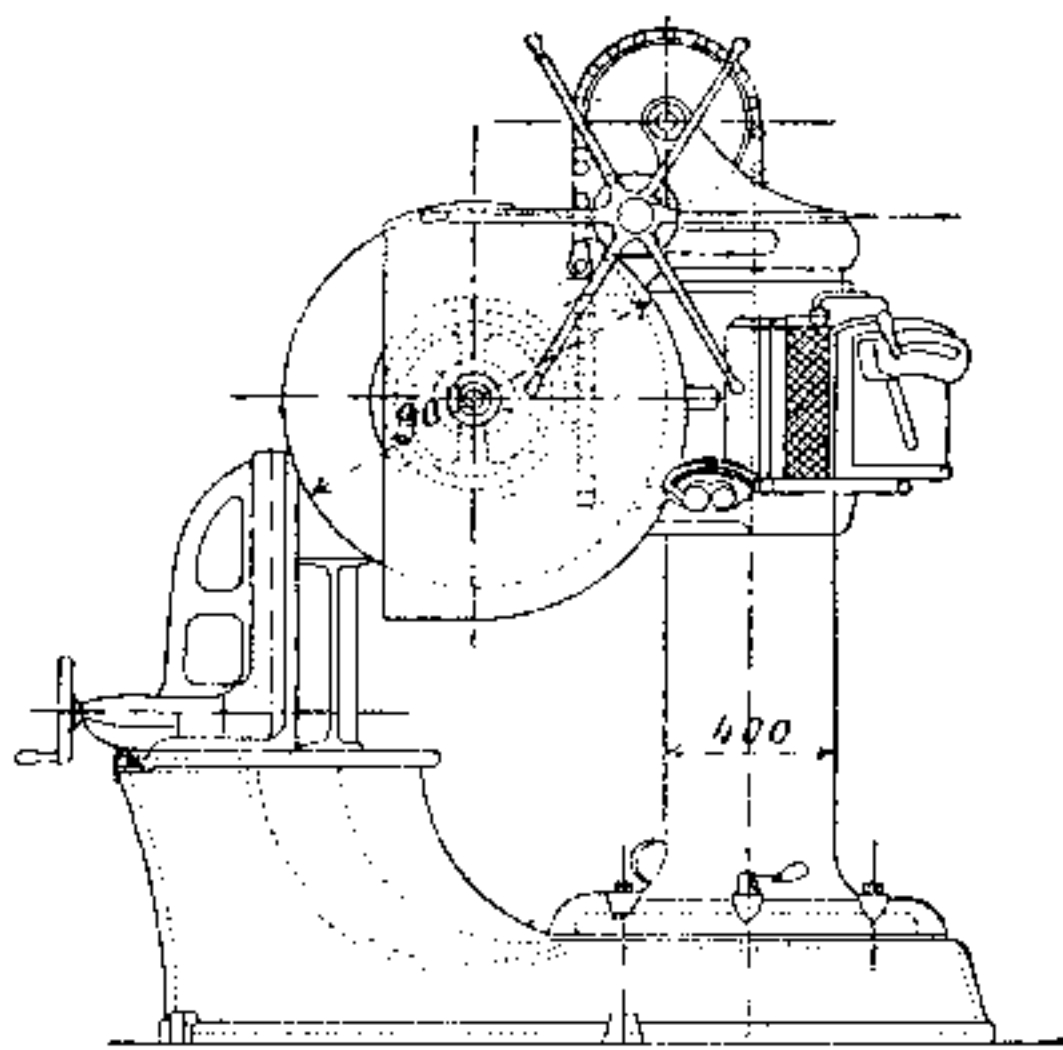


Рис. 572.

Машина режет трубы диаметром 150 мм, с толщиной стенок 8 мм, а также круглое или квадратное железо диаметром до 30 мм в 20 секунд.

В машине, изображенной на рис. 572—574, электромотор и диск с прочной гильзой передвигаются вертикально вдоль колонны большого диаметра. Части машины уравновешиваются грузом, укрепленным на цепи; машиной управляют штурвалом. Изделие укрепляют на столе станины как для поперечных, так и для наклонных резов.

Этот тип машины рекомендуется для крупных мосто- и строило-строительных работ, железнодорожных мастерских и т. п. При резании брусков квадратного сечения в 60×60 мм в 40 секунд, при ширине разреза 7 мм, и максимальной мощности в 35 лош. сил, или 25 725 ватт, объем удаляемого в одну секунду металла равняется:

$$V = \frac{60 \times 60 \times 7}{40} = 630 \text{ мм}^3.$$

Для удаления одного мм^3 металла требуется мощность:

$$W_1 = \frac{25\,725}{630} = 40 \text{ ватт.}$$

Средняя подача в секунду:

$$a = \frac{60}{40} = 1,5 \text{ мм.}$$

При стоимости kwh — 5 коп. стоимость одного реза равняется:

$$\frac{25\,725 \times 40}{3\,600} \times 5 = 1 \text{ коп.}$$

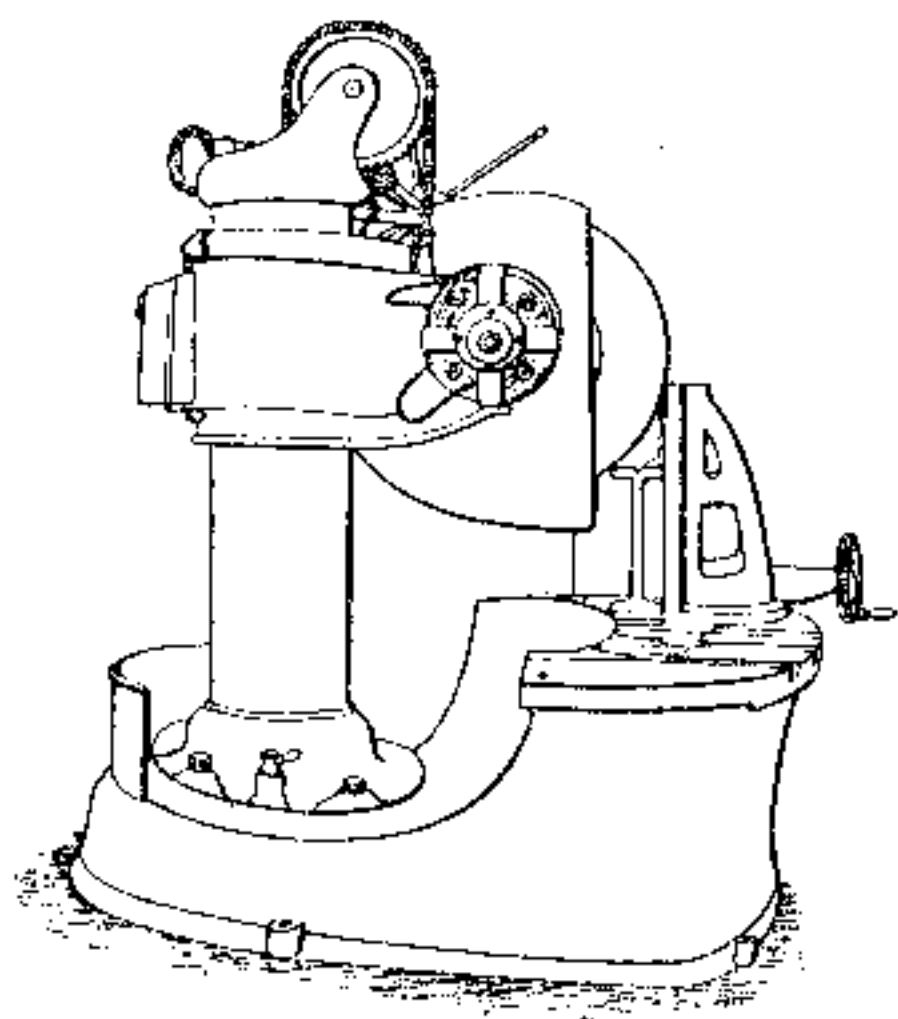


Рис. 574.

Стоимость ничтожная, которую едва ли можно снизить при каком-либо другом процессе.

Завод Райерсон (Rycerson) в Чикаго выпускает несколько моделей машин типа, изображенного на рис. 575 и 576, для резания фасонного, круглого или квадратного металла.

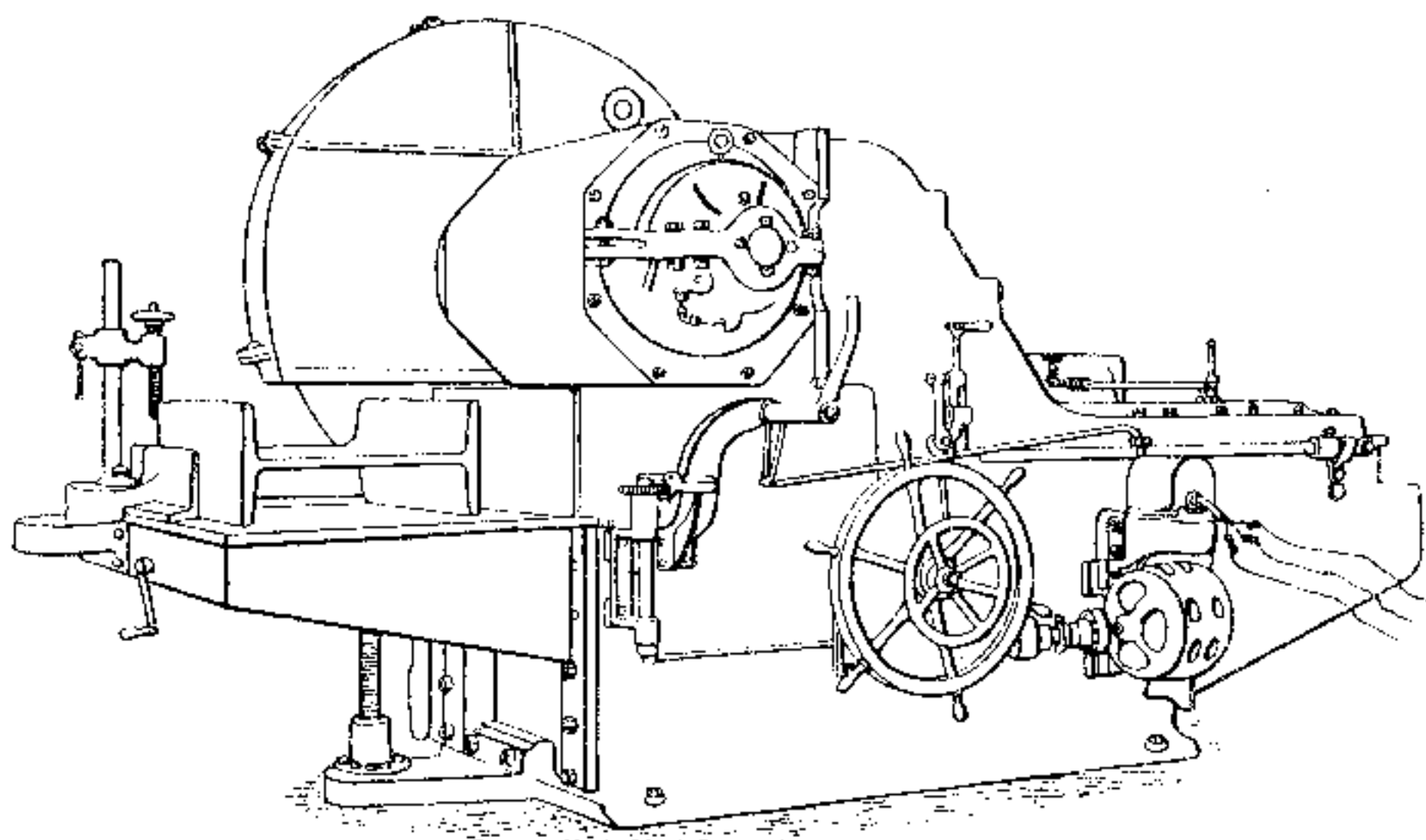


Рис. 575.

Диск установлен непосредственно на валу электромотора и окружен кожухом, улавливающим горящие частицы металла и также брызги охлаждающей воды.

Электромотор с диском и кожухом может передвигаться по станине, для чего он поставлен на четыре ряда стальных закаленных

роликов. Два других ряда роликов поддерживают всю систему с боков, не допуская ни малейшей игры.

Поперечная подача производится или небольшим электромотором в 1 лш. силу с шестеренчатой передачей, или ручным приводом с маховиком, или рукояткой. Последней пользуются преимущественно в начале операции и когда приходится резать металлы разного сечения. В этом случае автоматическая подача могла бы создать большое усилие на диск и вызвать его остановку слишком энергичным торможением.

Скорость подачи изменяется от 10 до 20 мм в секунду, а скорость обратного хода равняется около 60 мм. Диск диаметром 1,30 м и толщиной 7 мм делает 1800 оборотов в минуту, т.-е. развивает скорость на окружности в 120 м в секунду. При этой скорости напряжения в нем не превышают 6 кг/мм².

На окружности диска делают насечку с промежутками от 4 до 5 мм для повышения $tg\gamma$. Изделие (рис. 575), укрепляется на столе с вертикальным подъемом, облегчающим установку его относительно инструмента. Этот стол должен быть хорошо пригнан, чтобы избежать вибрации, недопустимой ни в одной части машины. Машина должна быть жесткой и точной конструкции.

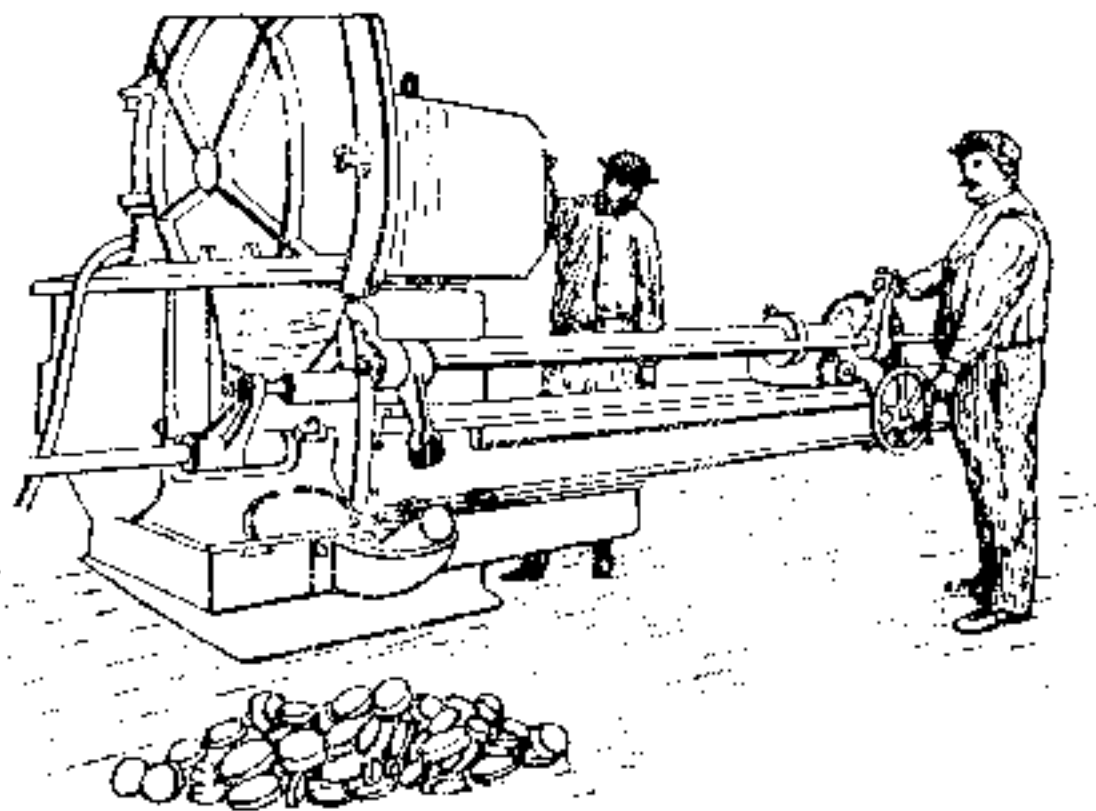


Рис. 576.

Стол устанавливается в любом положении как для резания под прямым, так и под косым углом. Для установки изделия и предупреждения всяких смещений и обеспечения равномерности реза устроен угольник, закрепляемый винтом.

Машина, изображенная на рис. 576, снабжена приспособлением для поворачивания круглого железа вокруг оси. Железо помещается в муфту, вращаемую мотором в 1 силу со скоростью около двадцати пяти оборотов в минуту в направлении, обратном вращению диска. Эта машина строится пяти моделей. Две меньших модели снабжаются моторами от 25 до 36 сил и ручной подачей; машины же с моторами от 45 до 100 сил имеют автоматическую подачу. Характеристики работы машин № 3 с мотором в 45 сил, постоянного тока 220 вольт, 1800 оборотов и диском диаметром 1,30 м при скорости на окружности в 120 м, даны в следующей таблице: (См. след. стр. 284).

Н а с е ч к а.

Нанесение простых или пересекающих зарубок на поверхностях изделий зубилом и молотком является второстепенной операцией. Эта операция называется насечкой.

Операция эта не сопровождается отделением материала, металл только высаживается в стороны, образуя более или менее острые ребра в зависимости от остроты их углов. Операция насечки обычно производится над отожженным металлом в холодную, изделие потом, если то требуется, закалывают.

Технические данные для разрезки	Двутавровые балки		Рельсы		Круглое железо	
	500 мм	1—600 мм	250 мм	45 кг	85 мм	152 мм
Продолжительность операции (секунды) . . .	29	60	60	23	49	96
Максимальная сила тока (амперы)	330	330	263	250	165	190
Средняя сила тока (амперы)	184	—	180	150	112,7	147
Средняя энергия в секунду (ватты)	40 500	—	39 700	33 000	24 800	32 500
Полная затрата энергии (квт)	1180	—	2 400	760	1 220	3 100
Полная затрата энергии (квт·ч)	0,326	—	0,666	0,212	0,340	0,860
Объем снимаемого металла (мм ³)	—	—	—	30 000	38 500	129 500
Объем металла, снимаемого в одну секунду (мм ³)	—	—	—	1 300	785	1 350
Энергия W_1 /мм ³	—	—	—	25,5	32	24
Усилие, касательное к диску (кг)	39	—	33	28	21	27
Нормальное усилие при $\operatorname{tg} \gamma = 0,25$ (кг)	156	—	132	112	84	108

Насечка применяется, например, при выделке напильников, рашпилей (рис. 577—578), а также тисочных губ. Насечка напильников в прежнее время производилась в каждой слесарной, кузнечной и инструментальной мастерской. В настоящее время насечка ведется в спе-

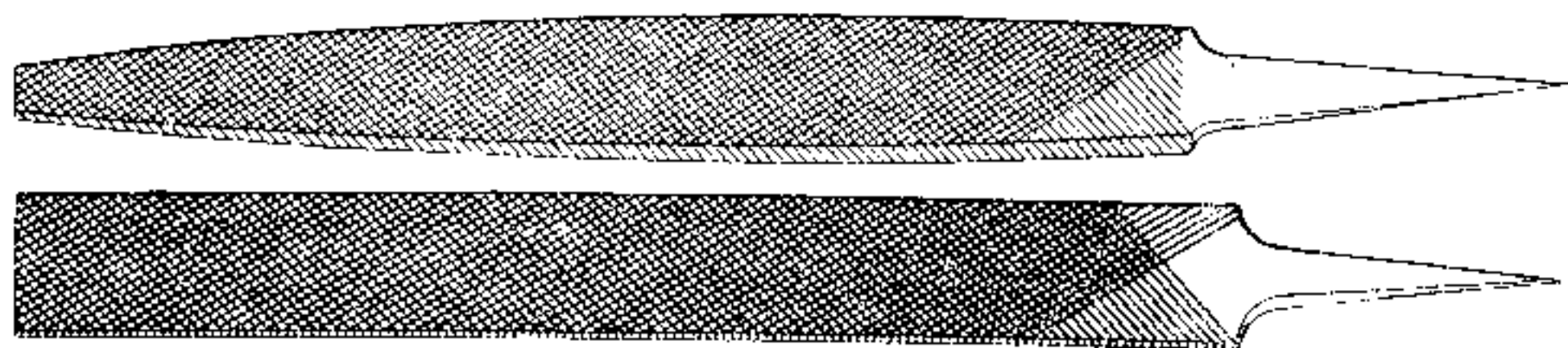


Рис. 577—578.

циальных мастерских и на небольших заводах, получающих материал в виде брусков и перерабатывающих его в готовые изделия.

Насечка производится молотком весом от 0,3 до 8 кг с изогнутой рукояткой, как показано на рис. 579. При насечке не требуется большой скорости удара, а требуются сухие короткие удары, которые дают лучшие изделия, сохраняют зубило и вместе с тем не утруждают рабочего.

В настоящее время для насечки напильников пользуются специальными машинами.

Н а к а т к а.

Накатка представляет разновидность механической насечки. Она производится стальным накатным роликом (рис. 580—582), вращающимся вследствие зацепления с вращающимся изделием. Таким образом,

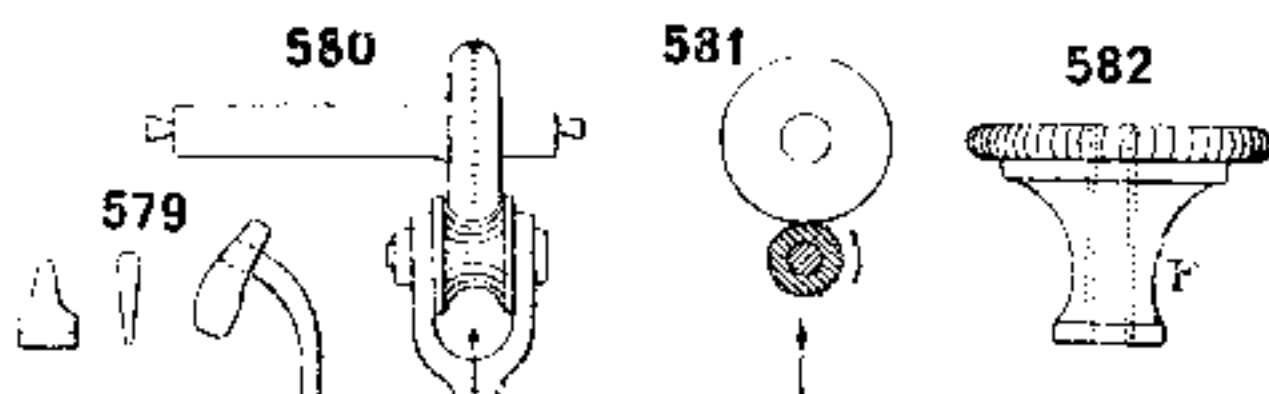


Рис. 579—582.

накатка производится путем качения инструмента по изделию, при чем высадка металла происходит постепенно по мере давления инструмента.

Этот процесс применяется для образования рубчиков на головках различных машинных частей, как, например, на головках винтов, кнопок и специальных гаек, отвертываемых вручную, без помощи ключей.

ГЛАВА IV.

Прокатка.

Прокаткой называется операция, заключающаяся в вытяжке металлической болванки в длинную полосу, пропуская ее между цилиндрическими валками, вращающимися непрерывно навстречу друг к другу в одном или в переменных направлениях. Операция выполняется на специальной машине — прокатном стане. Инструментами для этой машины являются валки.

Прокатка издавна и в особенности в настоящее время получила целый ряд применений при производстве изделий самой разнообразной формы. Основываясь на способах расположения инструментов и их относительных движениях, горячую и холодную прокатки можно разделить на три основных категории, а именно:

1. Продольную прокатку.
2. Поперечную прокатку и
3. Винтовую прокатку (геликоидальную).

В зависимости от типа инструмента или формы изделия эти категории прокатки подразделяются, в свою очередь, на многочисленные разновидности, как о том будет говориться дальше.

I. Продольная прокатка.

Продольная прокатка заключается в пропуске более или менее обработанной металлической заготовки между двумя валками соответствующего профиля, или между двумя цилиндрами с параллельными или наклонными друг

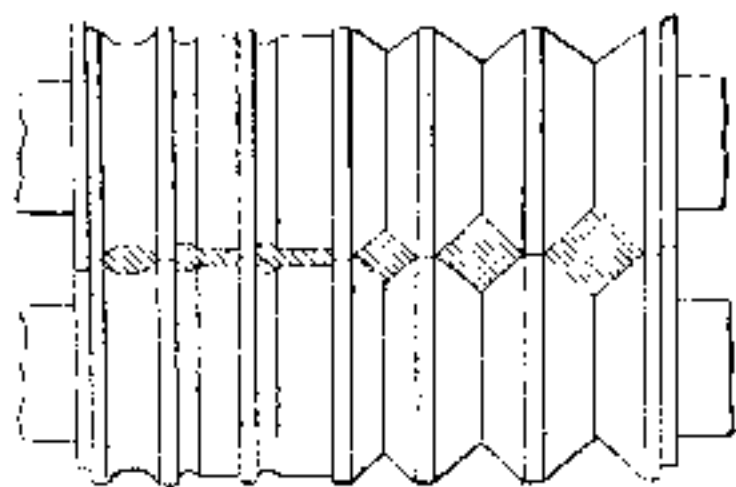
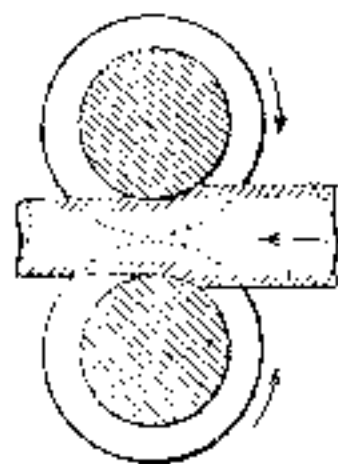


рис. 583.



к другу осями, вращающимися в противоположных направлениях.

Болванку (рис. 583) подают перпендикулярно плоскости осей обоих валков. Валки захватывают болванку, увлекают ее в своем движении и прессуют, изменяя поперечное сечение.

Наконец, валки, увеличив длину болванки, выбрасывают ее в более или менее измененном и законченном виде. При этой операции изделие движется прямолинейно или выгибается, в зависимости от большей или меньшей симметрии в расположении валков, а также в зависимости

от разности их диаметров. Болванку, обыкновенно призматической формы, чаще всего последовательными пропусками, реже в один пропуск, доводят до окончательного, весьма разнообразного, а иногда довольно сложного сечения. Деформация сечения болванки при каждом пропуске между валками должна соответствовать качеству и состоянию металла.

При горячей прокатке скорость на окружности валков колеблется от 1 до 4 метров и более в секунду, вследствие чего операция выполняется быстро. При холодной прокатке скорость меньше и колеблется между 0,50 и 2 метрами в секунду.

Этот процесс дает вообще очень высокую производительность. Прокатка в сильной мере способствовала распространению применения железа и стали. Процесс этот весьма пригоден для изготовления всякого рода изделий, форма которых допускает применение валков. Однако, прокатка не придает металлу такой однородности, какая достигается при ковке под молотом.

Металлы прокатывают в холодную только в исключительных случаях, чаще же всего прокатка производится при высокой температуре. При горячей прокатке весьма важна быстрота операции, поэтому необходимо избегать всяких потерь времени. Разработка прокатного процесса началась в 1846 году¹⁾. Первая прокатная машина состояла из сосуда, в котором помещался свинец. Свинец поддерживали в жидком состоянии постоянным подогревом, для чего была устроена специальная топка. В сосуд с равномерными промежутками времени опускался плунжер, вытеснявший расплавленный металл. Последний вытекал между двумя цилиндрами, где сгущался и затем прокатывался в листы, толщину которых можно было регулировать.

Валки охлаждались проходящей через них струей воздуха.

В 1857 году, в год своего великого изобретения, Бессемер применил этот процесс к прокатке тонких листов и небольших стальных полос.

Патент Бессемера не получил практического применения, так как в эту эпоху он был еще преждевременным.

К прокатному процессу обратились немного лет спустя, после того как несколькими американцами и самому Бессемеру удалось успешно преодолеть целый ряд затруднений.

Прокатный процесс устранял целый ряд подготовительных операций, вследствие чего уменьшалась себестоимость изделий. Это уже было большим шагом вперед. Процесс оказался пригодным для обработки крупных изделий из литой стали и литого железа. Прокатку таких изделий приходится заканчивать при понижении температуры до светло-вишневого каления, так как в противном случае происходит перекристаллизация металла, понижающая его сопротивление.

При большем охлаждении работа протекает при неудовлетворительном распределении тепла, так как центральная часть болванки сохраняет более высокую температуру, нежели ее наружные части.

После полного охлаждения изделий из твердой стали, в них могут возникнуть внутренние напряжения, вызывающие хрупкость металла, или трещины, понижающие его прочность.

Холодная прокатка или прокатка при невысокой температуре приводят к тому, что поверхность металла сильно сжимается или проко-

¹⁾ Бессемер взял патент на производство оловянных и свинцовых листов непосредственно из жидкого металла.

вывається, а плотность его увеличивается. Это увеличение плотности можно заметить по тому, что удлинение изделия не соответствует уменьшению его сечения. Объем металла при прокатке уменьшается, поверхность его становится более гладкой, а размеры изделия лучше калибруются. Предел упругости металла повышается так же, как и его сопротивление, но зато текучесть уменьшается приблизительно пропорционально увеличению сопротивления.

Холодную прокатку металла пробовали применить на заводе в Шлес-сине, но неудачно. Она применяется в Северо-Американских Соеди-ненных Штатах с 1851 года для окончательной отделки изделий, при-чем область применения ее, повидимому, расширяется.

На Бирмингэмских заводах (Питсбург) холодная прокатка вве-дена с 1859 года. В настоящее время из 50 000 тонн железных изделий, выпускаемых этими заводами, около 6 000 тонн составляют прутья, полосы, плиты и листы холодной прокатки. На этих заводах холод-ная прокатка применяется также для изготовления деталей машин, подвергающихся сильному трению, как то: ножей для жатвенных машин

и косилок. В этом случае большая твер-дость металла дости-гается сильным об-жимом его в про-катном стане, при-чем действие обжи-ма равноценно очень твердой закалке. Для холодной прокатки требуются валки из мягкой стали с це-ментованным и за-каленным наружным слоем.

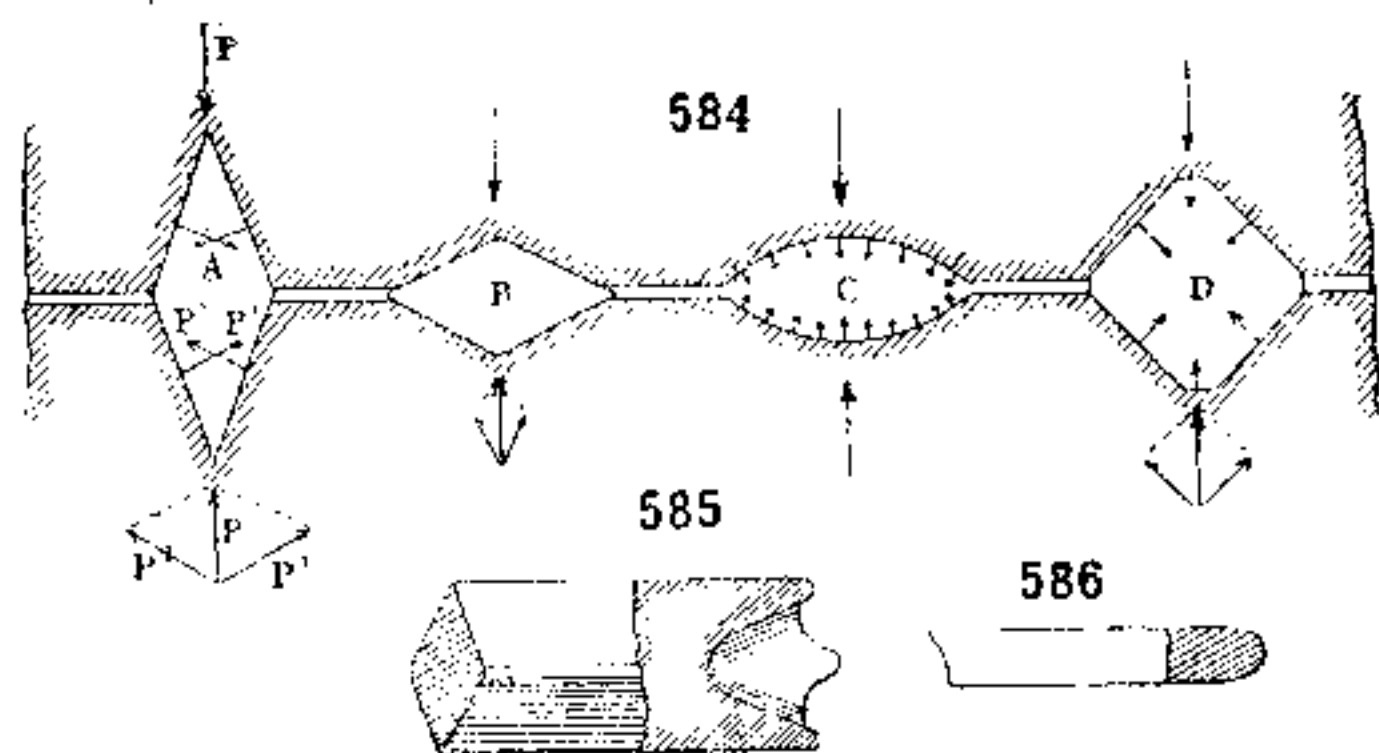


Рис. 584—586.

Расположение валков. — Валки делаются самой разнообразной формы. Гладкие валки служат для прокатки тонких полос и листов, а также для прокатки броневых плит равномерной или неравномерной толщины, в зависимости от того, параллельны друг другу образующие инструментов или составляют между собой некоторый угол.

Для прокатки волнистых листов, полос и проволоки пользуются валками с ручьями, сечения которых соответствуют сечению изделия (рис. 584—586). Такие изделия, как заготовки для молотков и костылей, изготавливаются между валками, на поверхностях которых выре-зают углубления, образующие как бы матрицы, соответствующей формы.

Сильное изменение сечения прокатываемого изделия достигается путем многочисленных пропусков; таким образом, уменьшение сечения металла происходит постепенно.

Число пропусков и степень уменьшения сечения изделия при каждом из них зависят от текучести металла, который должен хорошо заполнять ручей валка.

Действие инструмента в период установившейся работы остается неизменным, вследствие чего получаются очень равномерные и непре-рывные деформации.

Так как при прокатке заготовка вытягивается всегда весьма зна-чительно, то непрерывное давление инструментов сильно сжимает частицы металла и делает его более однородным. Если изделие под-

вергается сильной прокатке, то кристаллические образования обращаются в длинные параллельные волокна или параллельные чрезвычайно тонкие слои.

Образование частицами металла параллельных волокон является характерной чертой процесса продольной прокатки.

Волокнистое строение особенно заметно в сварочном железе, если прокатка его в тонкие полосы производилась при темно-красном калении.

Прокатный стан в сущности представляет собой вращающийся пресс непрерывного действия. Прокатный стан вытягивает металл, обладающий низкой текучестью, гораздо лучше, нежели молот.

Однако, при том же качестве металла, выдерживающего оба вида обработки, кованый металл всегда обладает большим сопротивлением и большей текучестью, нежели катаный.

Так, например, при испытании на разрыв стального катаного бруска наблюдалось сопротивление в 40 килограмм на квадратный миллиметр при удлинении в 13,5 процента, тогда как сопротивление такого же бруска, выкованного под молотом, действующим более энергично на все его части, равнялось 52 килограммам на квадратный миллиметр при удлинении в 17 процентов.

Точно также признано, что сварку железных пакетов гораздо лучше производить под молотом, нежели на прокатном стане, так как последний плохо сбивает окалину. Тем не менее прокатный стан работает быстрее молота, и ему надо отдать предпочтение при обработке длинных пакетов, которые в этом случае быстрее свариваются во всех своих частях.

Если при ковке клиновидная форма бойка благоприятствует вытяжке, то такая же форма ручья благоприятствует вытяжке и на прокатном стане. Тем не менее углы *A* (рис. 584) никогда не делают острым, а делают его тупым, как показано на том же рисунке в *B*, чтобы не вызывать слишком большой разности скоростей на окружностях изделий и связанного с ними скольжения, а также, чтобы не слишком ослаблять сечения валков против вершины угла. Ручью часто предпочитают придавать овальную форму, как показано на том же рисунке в *C*, а при прокатке начерно крупных изделий квадратную форму, изображенную в *D* на рис. 584 с закругленными или срезанными вершинами углов. При последней форме разность скоростей вызывает скольжение металла в направлении горизонтального диаметра, т.-е. в направлении наибольшего диаметра валка, туда именно, где меньше давление вследствие наличия зазора. Так как сдвиги металла у вершины угла стеснены вследствие развивающихся в этих точках больших давлений, то происходят сдвиги частиц металла в соседних его частях. Этим сдвигам в направлении горизонтальной диагонали способствуют также гладкие наклонные поверхности ручьев.

Таким образом, металл удлиняется больше в вершинах ручьев выреза, нежели в середине. Это можно заметить при черновой прокатке изделий, на торцах которых образуются углубления (рис. 585), даже в том случае, если заготовку поворачивали при каждом пропуске. При прокатке листов наблюдается обратное явление. Торцы листов всегда несколько закругляются (рис. 586), так как металл больше сдвигается в середине листа, нежели на его поверхностях. В данном случае преобладающее действие оказывает давление, а не увлечение поверхностей листов поверхностями валков.

Типы вальцов и прокатных станов.

Прокатными вальцами первоначально пользовались для изготовления свинцовых плит и листов, а затем для калибровки полос из других металлов, служащих для чеканки монет и медалей ¹⁾.

Эти первые прокатные вальцы послужили прототипами станов для прокатки железа. Поэтому мы приводим здесь изображения таких вальцов (рис. 587), применявшихся при производстве монет в XVII столетии. На рис. 588 изображены подобные же вальцы для первичного обжима металла. Полосы пропускались через отверстие *A* и между валками *DD*. Расстояние между валками регулировалось винтами *F*. На рис. 587 изображены вальцы для вторичного чистового обжима.

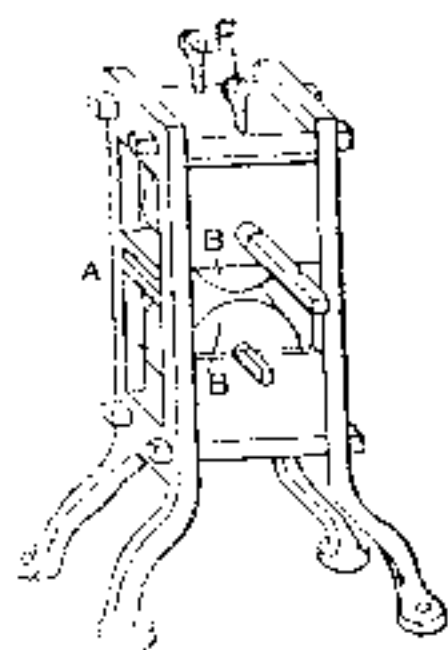


Рис. 587.

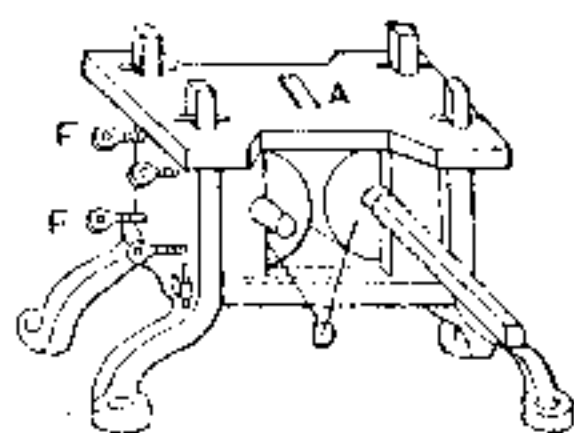


Рис. 588.

Полоса пропускалась через отверстие *A* и между валками *BB*, расстояние между которыми регулировалось винтами *F*. Валки сцеплялись между собой шестернями *CC* (рис. 590).

При прокатке начерно полосу пропускали через вальцы вертикально, а при прокатке начисто—горизонтально.

Трое таких вальцов приводились в действие че-

тырьмя лошадьми. Несложная передача состояла из валковых шестерен и соответствующих ежей.

Стан для прокатки свинца. На рис. 589 и 590 изображен механический стан, применявшийся в Англии в XVII столетии для прокатки свинца. Заимствуем его описание из французской „Энциклопедии“ (изд. 1780—1790 гг.).

Стан для прокатки свинца состоит из двух цилиндров или валков *A* и *B* из литого железа, длиной свыше 1,5 метра, не считая их шеек. Диаметр валков около 300 мм и каждый из них весит 1270 кг.

Валки горизонтальные и помещаются посередине стана, как то можно видеть на рис. 589.

На рис. 591 приведено устройство механизма для перемены хода посредством сцепления или расцепления с валом *C* одной или другой валковых шестерен *D* и *F*.

При таком остроумном способе не было надобности поворачивать лошадей для вращения валков в обратном направлении. Точно также отпадала переноска тяжелой свинцовой плиты весом около 1100 кг с той стороны стана, на которую она выходит из-под валков, на ту сторону, откуда она подается, так как прокатку ведут только в одном направлении.

Отлитый, обрезанный и обчищенный свинцовый лист поднимают поворотным краном *PRS* (рис. 589) и кладут на деревянные ролики, установленные на станине прокатного стана.

¹⁾ Первым, применившим прокатный стан для калибровки металлических полос при изготовлении монет, был француз Брюер (Briher). Около 1550 года он воспользовался для этого прокатным станом Обри Оливье на Парижском монетном дворе. В Англии первый прокатный стан появился в 1668 году; он был поставлен на одном заводе близ Ричмонда. Только около 1784 года Генри Корт (Henry Cort) применил прокатный стан для прокатки обыкновенного puddling-ового железа.

Надо заметить, что плиту прокатывают между валками только в одном направлении, когда валок *A* поворачивается валковой шестерней *F*. Благодаря всем этим вспомогательным приспособлениям для обслуживания машины требуются шесть рабочих и шесть лошадей при работе в течение круглого года по одиннадцати часам в день. В течение десяти рабочих часов можно довести толщину плиты с 45 миллиметров до 2,5 миллиметров. Для этого плиту надо пропустить между валками по крайней мере двести раз.

С первых же годов применения прокатных станов для обработки железа на них изготовляют фасонные полосы для скобяных изделий.

На рис. 592 изображено в перспективе устройство прокатных станов, установленных в Эссонне (Essonnes), служивших для прокатки плоских карнизных полос и т. п. Прокатываемая полоса обозначена буквами *AB*. Как видно на рисунке, часть *A* полосы еще не проходила между валками, часть же *B* уже вышла из валков и приобрела свой окончательный профиль.

Согласно докладу комиссара Академии Наук, сделанного 23 декабря 1754 года, этот прокатный стан состоял из двух железных валков; один из них *C* имел ручей на своей окружности, отпечатывающийся на плоских полосах *AB* и придававший им соответствующее сечение. Оба валка приводились во вращение отдельными водяными колесами. Нижний валок *D* вращался валом одного водяного колеса. Для этого вал валка имел квадратную головку, входившую внутрь вала колеса. Другое колесо вращало верхний валок *C* в обратном направлении.

При вращении обоих валков между ними вводили раскаленную до-красна полосу, которой требовалось придать определенный профиль. Полоса захватывалась обоими валками и увлекалась их движением. Полоса вытягивалась и получала окончательный профиль по всей длине в одну операцию, которая продолжалась очень короткий промежуток времени.

Чтобы железная полоса не могла обернуться вокруг валка (оковывание валка), рабочий захватывал ее клещами, как только она выходила с противоположной стороны валков, и удерживал ее пока она не выходила целиком.

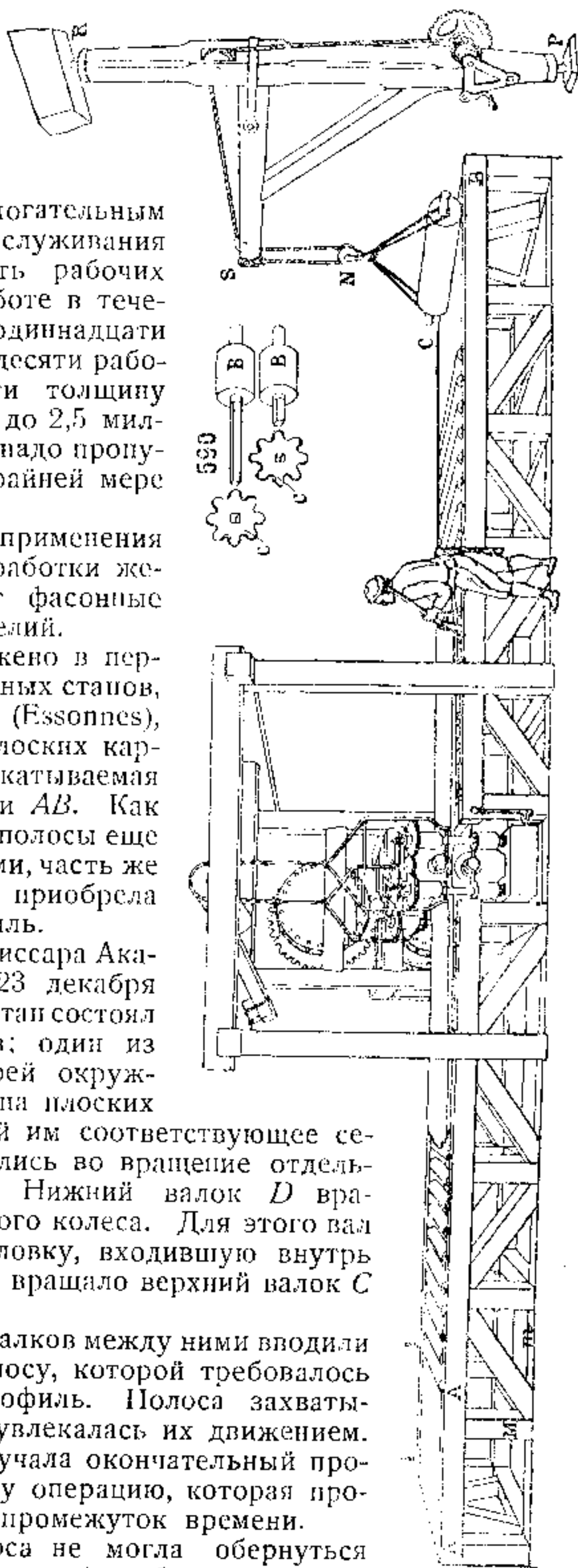


Рис. 589 — 590.

В наше время пользуются аналогичными прокатными станами приводимыми вручную или механической силой.

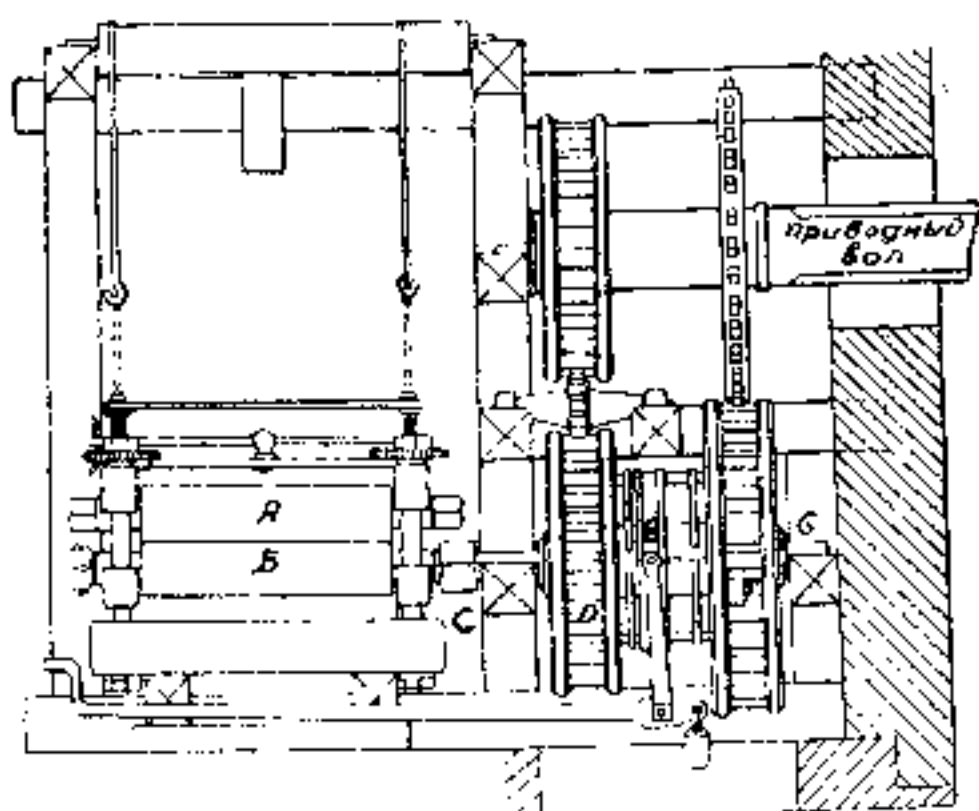


Рис. 591.

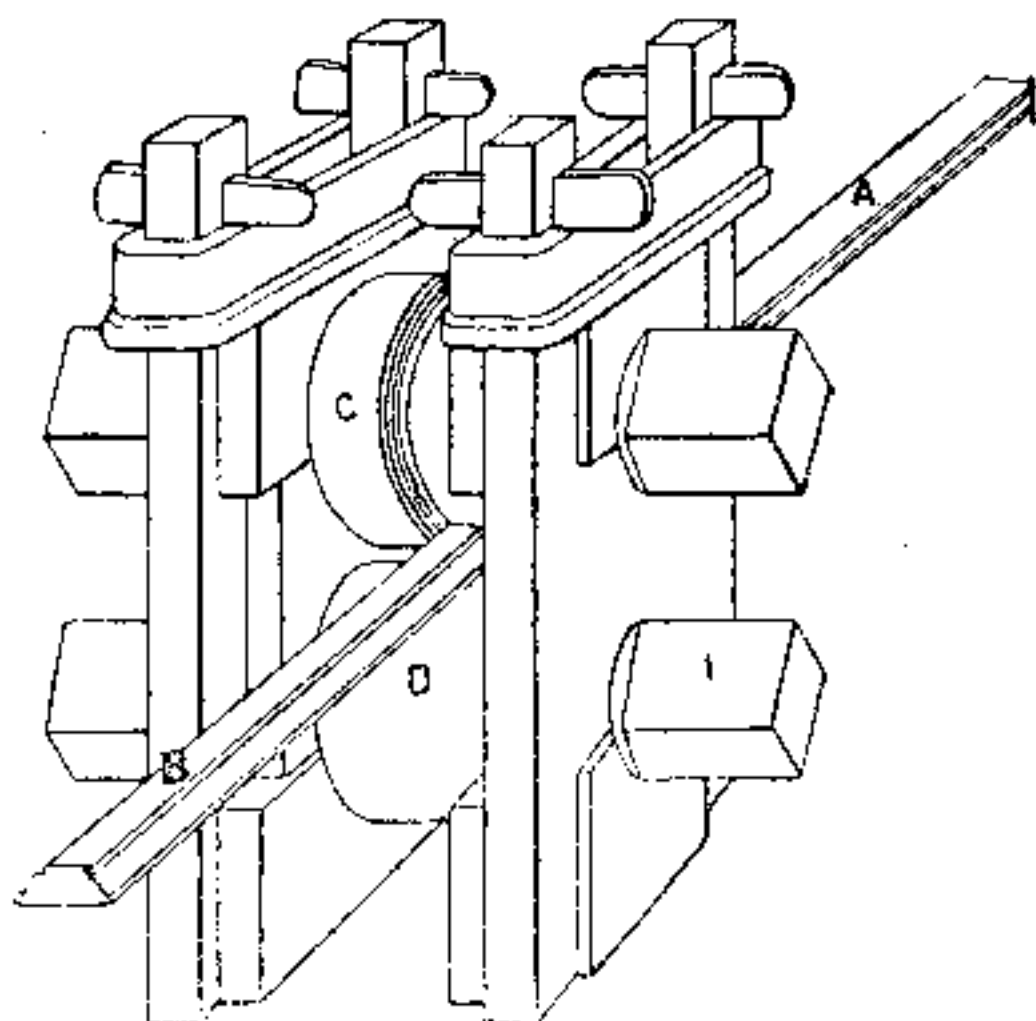


Рис. 592.

На рис. 593 представлены ручные вальцы для прокатки небольших полос, состоящие из двух валков с параллельными осями, из которых один надет на ведущий вал. Другой валок надет на ось, подшипники которой можно передвигать между стойками станины. Вертикальная установка производится винтом, переставляющим подшипники и регулирующим давление. Установку валков производят перед каждым пропуском, так как толщина полосы каждый раз уменьшается.

На рис. 594 изображены более сложные вальцы с механическим приводом. Этими вальцами чаще всего

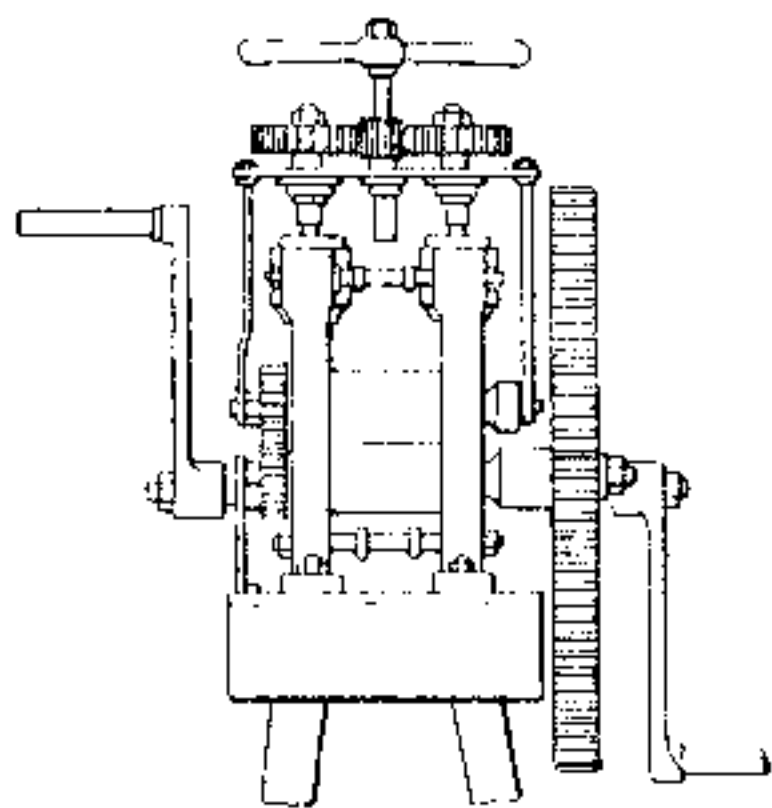


Рис. 593.

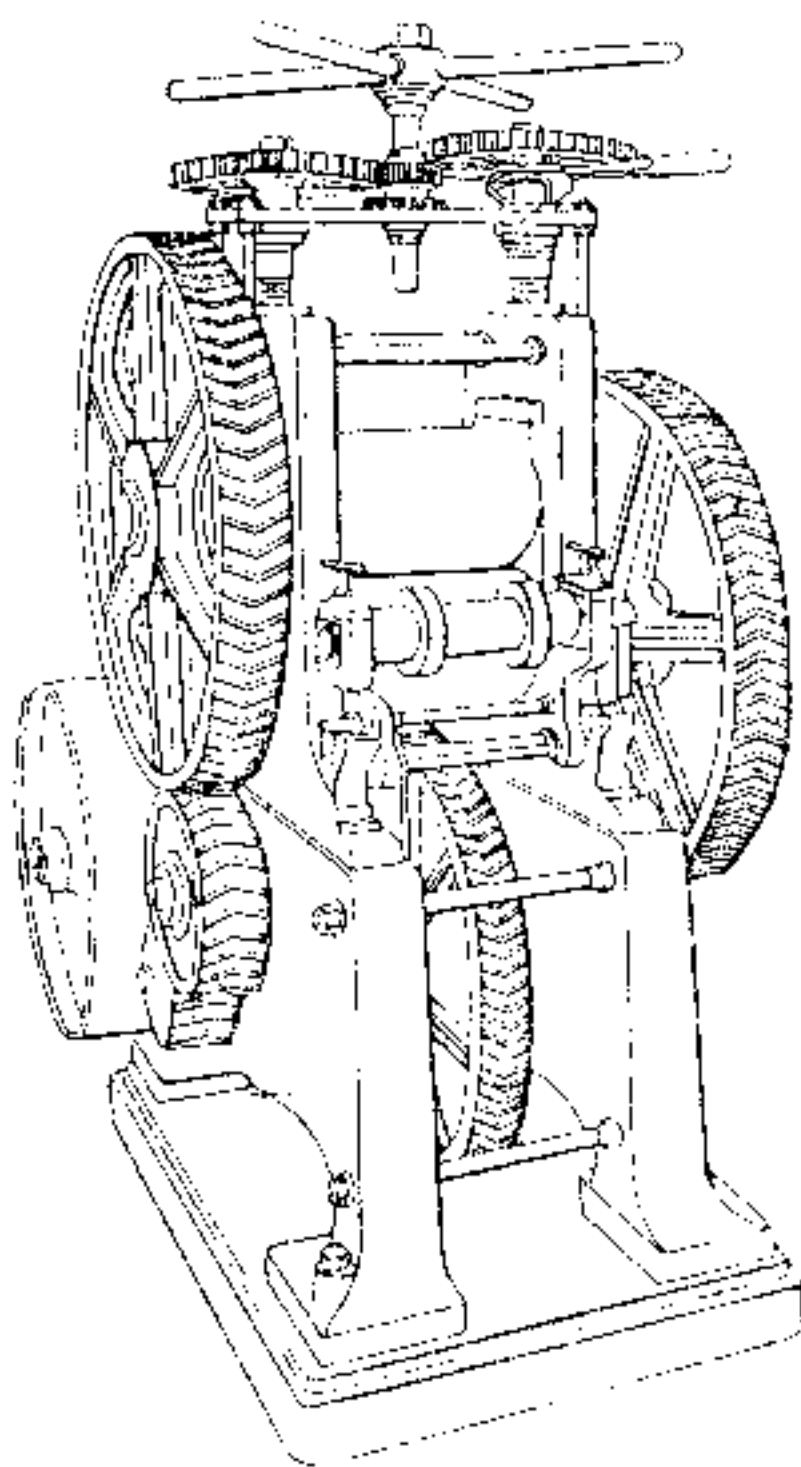


Рис. 594.

пользуются для калибровки узких полос холодной прокаткой, а также для прокатки в горячую металлических полос с целью уменьшения их толщины. Такими вальцами пользуются в некоторых отраслях промыш-

ленности для производства работ, связанных со сборкой и другими заключительными производственными операциями.

Прокатные станы, применяемые на крупных литейных заводах для прокатки железа, стали, меди и других металлов, достигают больших размеров и чаще всего имеют несколько пар валков, располо-

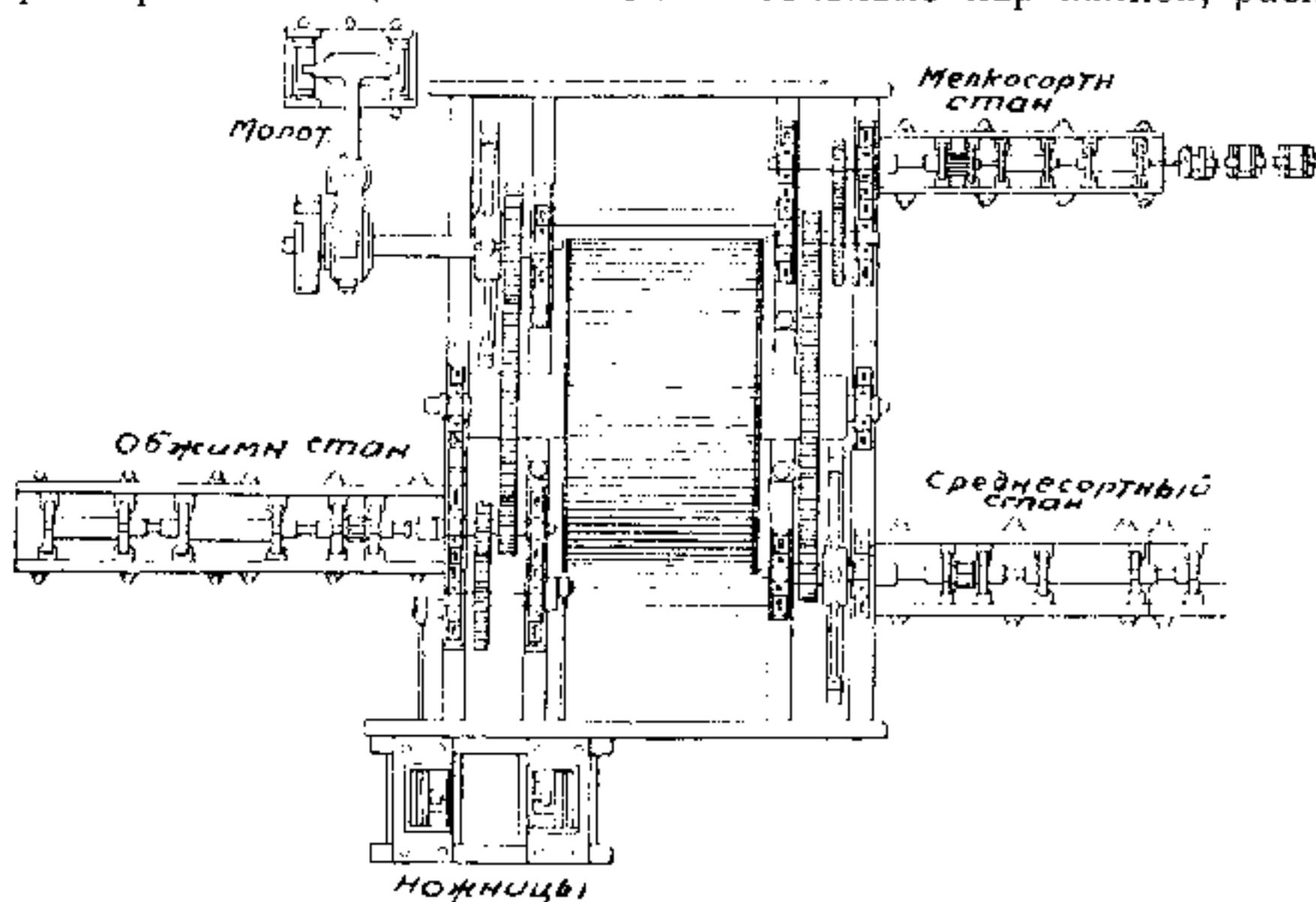


Рис. 595.

женных в клетях, стоящих в одну линию или параллельно друг другу. Клетки, если изделие обрабатывается в несколько пропусков между различными парами валков, называются обжимными или черновыми и чистовыми клетями. На рис. 595 изображена старинная прокатная установка с тремя станами, приводимая в действие водяным колесом с промежуточными шестеренными передачами.

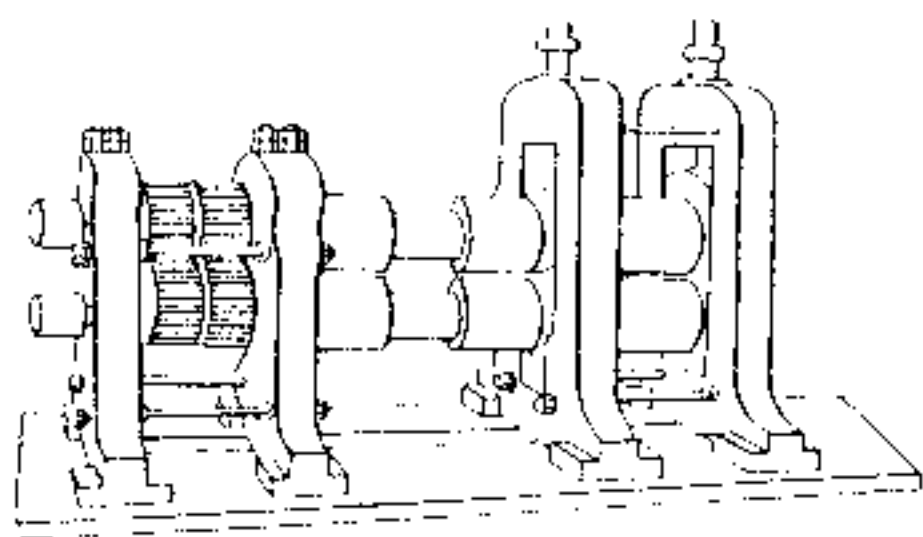


Рис. 596.

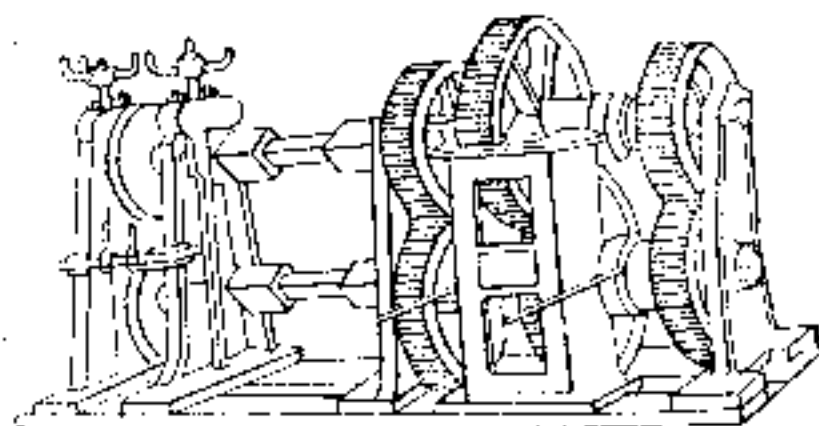


Рис. 597.

На рис. 596—597 изображены современные нормальные станы для прокатки изделий с небольшими сечениями. Станы эти приводятся в действие промежуточными трансмиссиями. Однако крупные прокатные станы, как, например, изображенные на рис. 598—601, применяющиеся для прокатки сортового, фасонного железа и толстых листов, приводятся в действие непосредственно паровыми двух- или трех-цилиндровыми машинами, иногда реверсивными, делающими от 100 до 150 оборотов в минуту. Машины, приводящие в действие крупно-сортные станы, как, например, рельсо-прокатные станы большой производительности, развивают до 10 000 и более лошадиных сил.

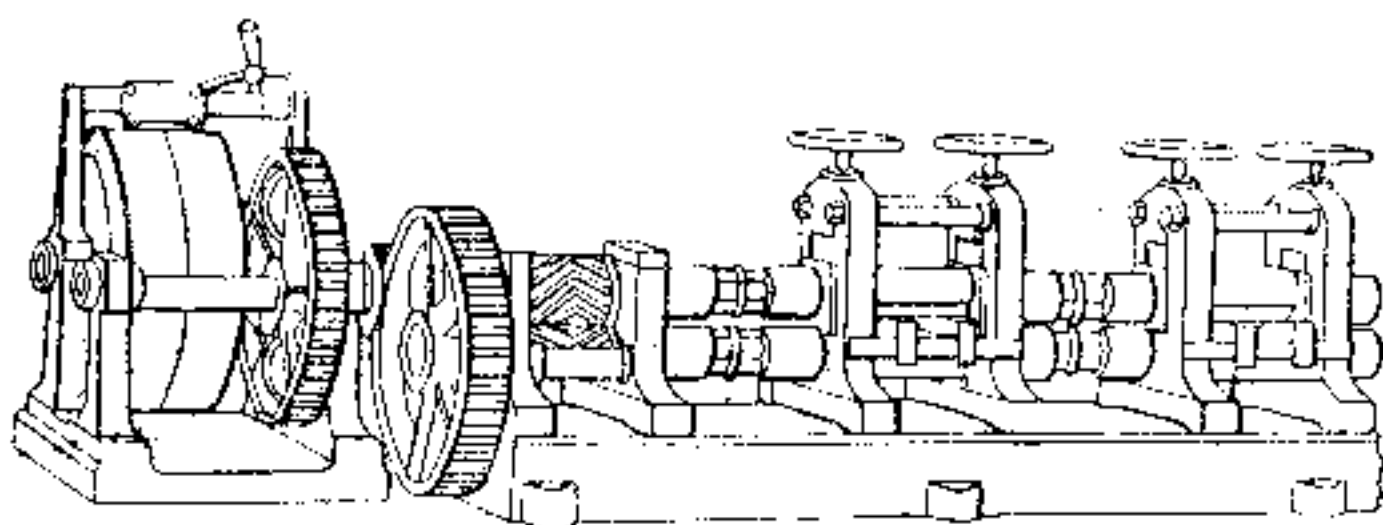


Рис. 598.

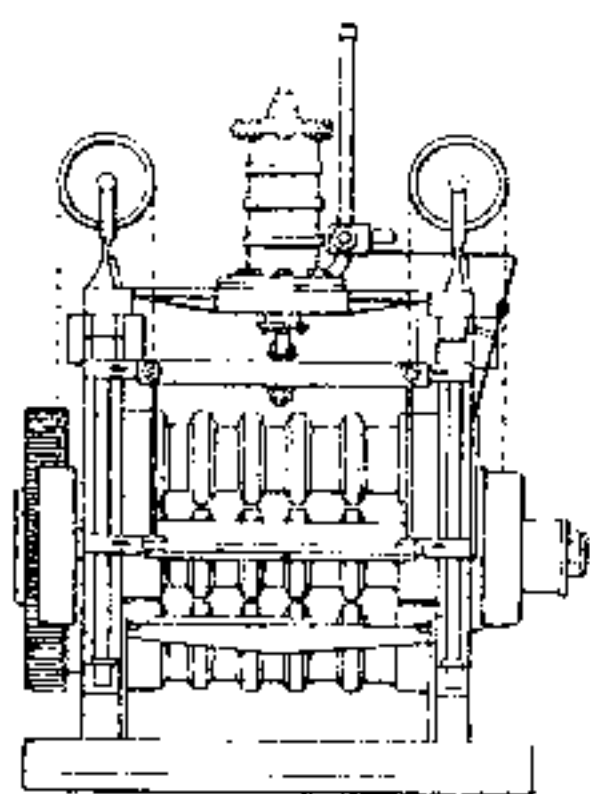


Рис. 599.

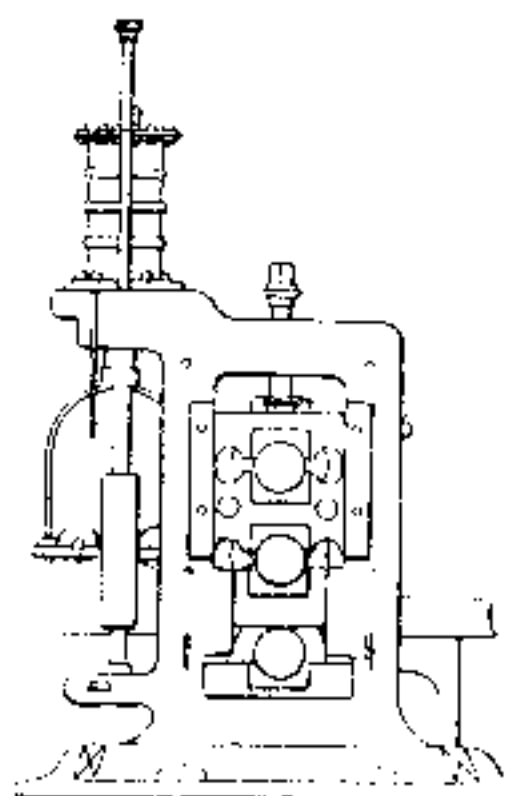


Рис. 600.

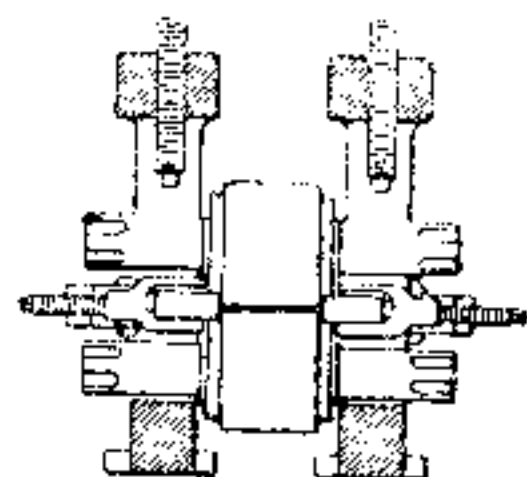


Рис. 601.

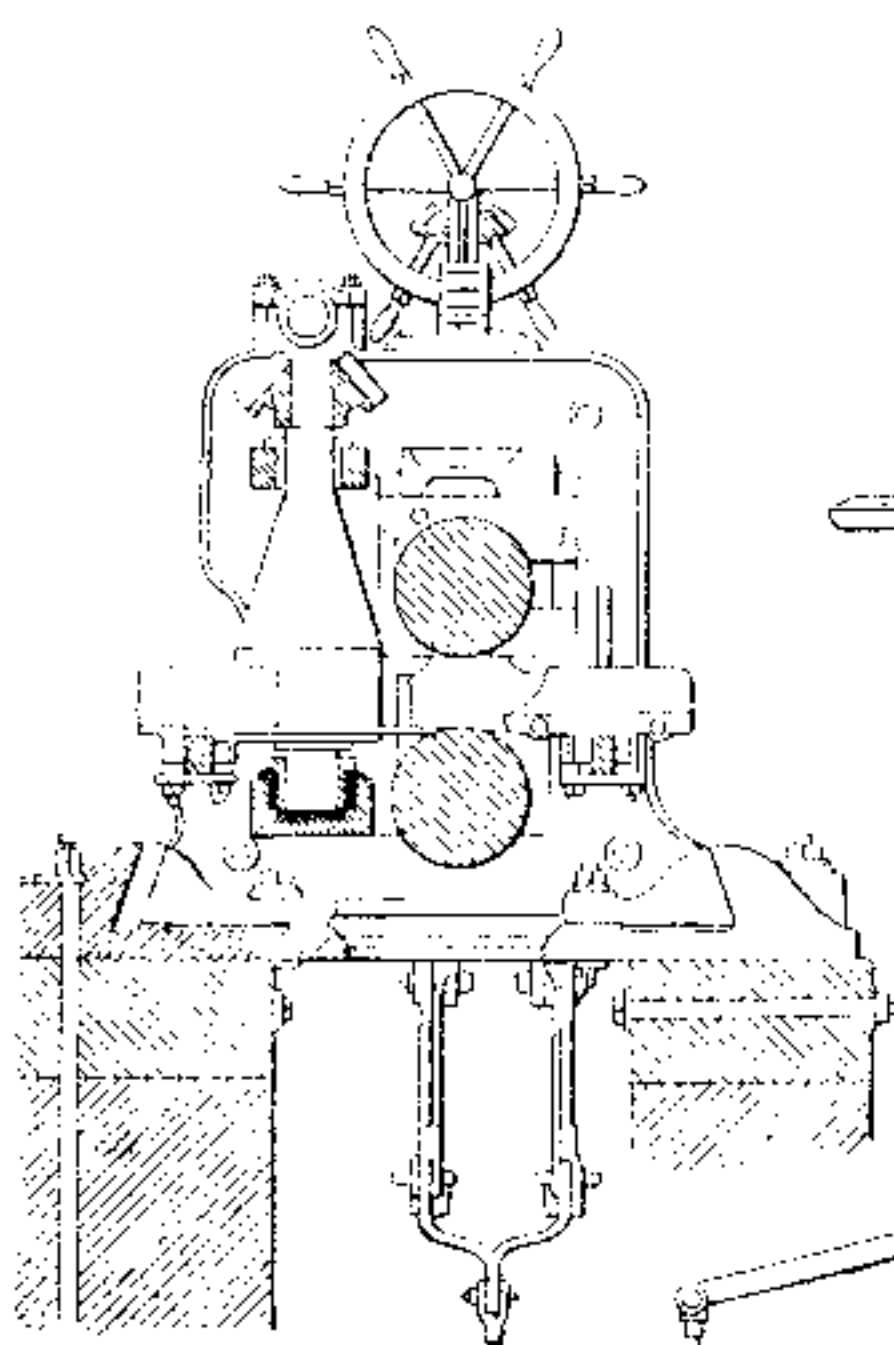


Рис. 602.

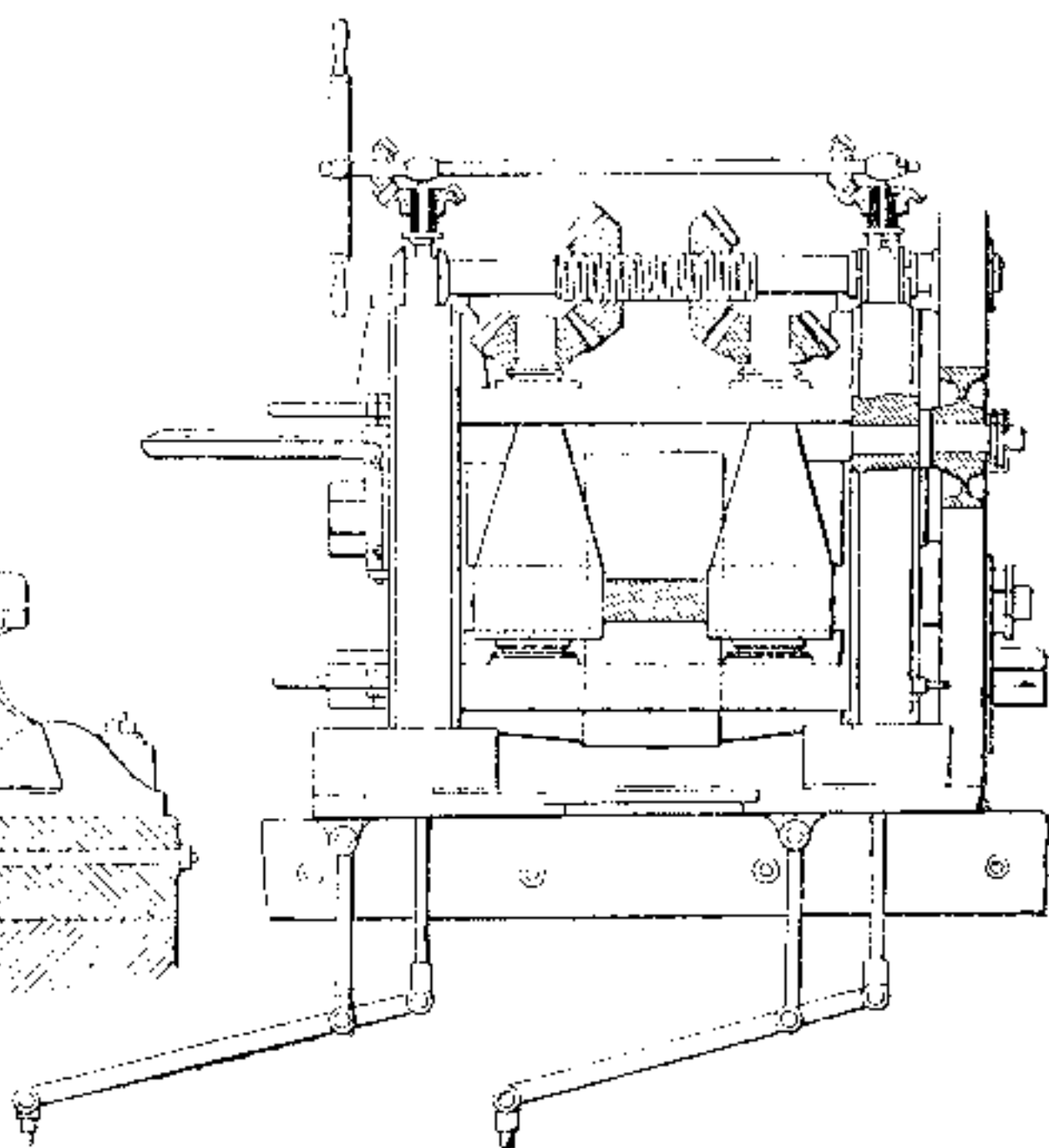


Рис. 603.

Прокатка пластом и на ребро. Прокатка в ручьях для уменьшения поперечного сечения болванки до желательных размеров требует многочисленных пропусков. Поэтому на валках устраивают несколько ручьев, постепенно уменьшающегося сечения.

Наконец, для уменьшения числа машин, пришли к одновременной прокатке изделий пластом и на ребро между двумя вертикальными и двумя горизонтальными парами валков — гладких или с ручьями (рис. 602—603)¹⁾.

При прямоугольном сечении изделий гладкие валки обладают тем преимуществом, что при них избегаются значительные трения между боковыми поверхностями ручьев и боковыми поверхностями изделий.

Изделие подается в валки всегда с одной и той же стороны. Если же стан вращается в переменных направлениях, то подача изделий производится с обеих сторон, и в таком случае стан называется реверсивным. Для прокатки пластом и на ребро разработан целый ряд способов расположения валков. Так, например, способ расположения, изображенный на рис. 601, позволяет получать всевозможные профили. Такого рода станы называются универсальными²⁾.

Профильная прокатка. Иногда прокатка применяется только для изменения формы поперечного сечения изделия без уменьшения его площади. В этом случае прокатка не сопровождается вытяжкой. Этот процесс применяется для изменения формы плоских цинковых, медных и железных листов и полос, придавая им или волнистое или рубчатое поперечное сечение.

Валкам придают соответствующий профиль, как, например, изображено на рис. 603, и снабжают приспособлением для изменения расстояния между ними.

Перестановка валков производится штурвалом. Этим станом пользуются для прокатки тонких и узких полос и листов. Во втором томе этой книги мы встретимся с процессом прокатки крупных изделий, как, например, волнистых и ребристых листов, для изготовления жаровых труб паровых котлов и прочих изделий, требующих мощных прокатных универсальных станов.

Прокатка матричными валками. Если при прокатке требуется сильно изменить продольный профиль изделия, то в валках устраивают углубления, соответствующие форме изделия, учитывая при этом, если прокатка производится при высокой температуре, сокращение металла при охлаждении. В валках, в зависимости от их размеров, устраивают одно или несколько таких углублений одинаковых размеров. Таким образом, валки представляют собой как бы вращающиеся матрицы. Ясно, что такие валки должны вращаться в точном соответствии друг с другом, вследствие чего их соединяют шестернями. Прокатка ведется или в один пропуск, или в несколько. В последнем случае делают постепенно увеличивающиеся углубления. Если из одной и той же полосы выделывают несколько одинаковых изделий, то в валках делают столько углублений, сколько их допускает длина окружности. Иногда валкам придают возвратно-вращательное движение. В этом случае валки представляют собой секторы.

Для упрощения выделки валков их устраивают из нескольких частей, скрепленных болтами или кольцами, как то показано на рис. 604,

¹⁾ Прокатный стан Витковиц.

²⁾ Универсальный стан изобретен Дэленом (Daelen), директором сталелитейного завода Хёрде (Hoerde) в Вестфалии, в 1848 году.

изображающем прокатный стан для выделки небольших изделий, как например, заготовок шаров (рис. 604—605), заготовок гвоздей, а также заготовок для профилированных и разрезных изделий (рис. 606—607)¹⁾.

Для обрезки заусениц устраивают режущие кромки по одной с каждой стороны ручья, как показано на рис. 608.

Прокатка в матрицах применяется при массовом производстве одинаковых изделий. Таким образом изготовляют заготовки молотков, осей, колесных спиц, прядильных пинделей, скобяных ножевых и гвоздевых изделий, напильников и т. п.

Принимаются все меры к тому, чтобы придать ручьям форму, возможно близкую к окончательной форме изделия, чем сильно понижается себестоимость массового производства.

При производстве брусьев конической формы или таких же труб пользуются валками (рис. 609—613)²⁾ с коническими спиральными ручьями, а если длина изделия не велика, то с кольцевым ручьем. Проходя между такими валками изделие подвергается только небольшой вытяжке.

Прокатку конических брусьев или труб начинают с середины или иной точки по их длине и ведут ее в направлении к одному или обоим концам. Пронуская часть или обе части заготовки между вал-

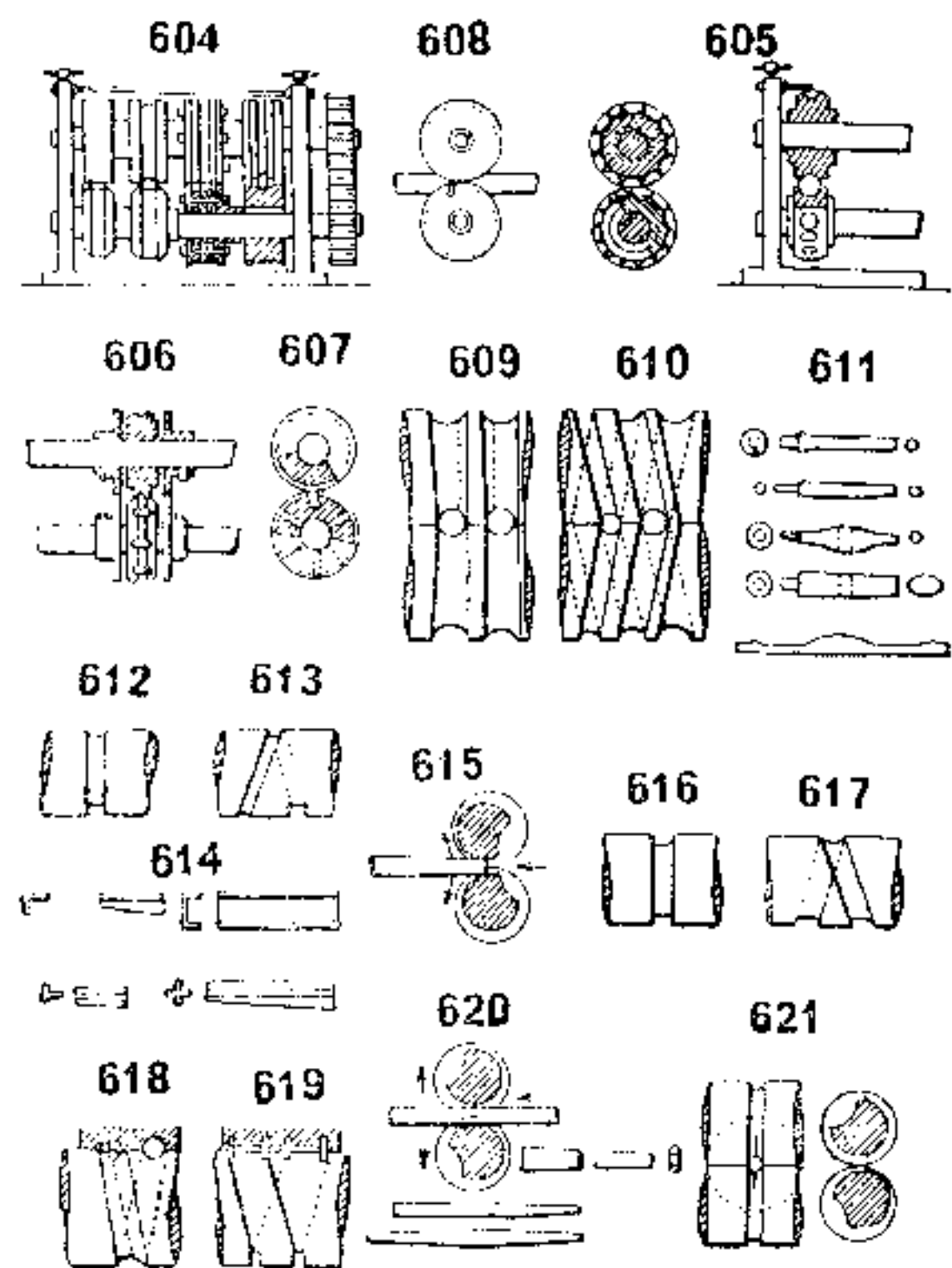


Рис. 604 — 621.

ками, можно изготовлять из нее массивные или полые оси, тавровые или двутавровые балки и т. п. изделия, сопротивления которых разрыву и изгибу почти одинаковы. Валки для такого рода прокатки изображены на рис. 618—621.

Прокатка с шаговым продвижением материала. При устройстве валков, изображенных на рис. 615, 620 и 621, т.-е. с соответствующими друг другу вырезами, заготовку можно вводить между валками в соответствующий момент со стороны выхода изделия при обычной прокатке.

Такая прокатка с обратным шаговым продвижением материала получила широкое применение при производстве различных изделий как простой, так и сложной формы. В тот момент, когда срезы валков соответствуют друг другу, заготовку подвигают вперед, последние обжимают ее и выталкивают в ту же сторону, с которой она была подана. В зависимости от способа подачи заготовки и формы ручьев можно получать изделия с изменяющимися сече-

¹⁾ Прокатный стан Гастингса (Hastings), патент 27 августа 1889 г.

²⁾ Патент Лоренца 12 декабря 1888 г.

ниями или постоянными, в зависимости от сечения ручья на поверхности вала.

При таком устройстве валков прокатка длинных или трубчатых изделий производится в несколько последовательных поступательных и возвратных движений заготовки.

Подача заготовки больше ее возвратного движения, вследствие чего воздействию инструмента подвергаются каждый раз новые части заготовки.

Этот процесс требует устройства сопряженных валков, позволяющих вводить между ними новую часть заготовки, тогда как уже обработанная ее часть находится вне валков.

Таким образом, для выделки труб пользуются ручьями, состоящими из трех частей, а именно: первой части, представляющей выемку, идущую по образующей вала, второй, представляющей собой ручей с постепенно уменьшающимся диаметром (коническая часть), называемой рабочей частью, и третьей — цилиндрической части, служащей для окончательной калибровки трубы.

При прокатке цилиндрических изделий, после каждого пропуска, заготовку поворачивают вокруг оси на некоторый угол, выравнивая, таким образом, те ее части, которые приходились против боковых стыков обоих ручьев. Мы вернемся к этому процессу при изложении процессов производства труб.

Между цилиндрическими валками можно точно также прокатывать холодную или горячую конические согнутые коленом трубы, а также трубы, свертываемые из катаных прямых или обрезанных на конус полос.

Валки делаются также коническими (рис. 622). Иногда один из валков заменяют плитой с ручьем, соответствующим ручью другого вала (рис. 623 и 624).

Плита устанавливается неподвижно, а вращающемуся валку придают поступательное движение или, наоборот, придают поступательное движение плите. В последнем случае вращающемуся валку придают неизменное положение.

Этим способом легко прокатывают конические бруски (рис. 625—626).

В тех случаях когда требуется изменять профили в нескольких плоскостях, комбинируют в одном стане три или четыре вала (рис. 627—628).

Такого рода станы (рис. 629) применяются при прокатке прутьев для дальнейшего приготовления из них гвоздей, о чем будет речь впереди.

Ручьи валков могут быть самого различного вида.

Устройство стана с несколькими валками, расположенными как показано на рис. 632—634, позволяет придавать концам труб или брусков коническую форму или вытягивать их на конус по всей длине. В этом случае брусок перемещается в продольном направлении при каждом повороте валков на всю свою длину.

Прерывистая прокатка. Такая прокатка производится в несколько пропусков. Заготовка прокатывается, или путем последовательных пропусков ее в одном направлении между валками стана дуо (рис. 630), или путем чередующихся пропусков в обоих направлениях между валками реверсивного стана дуо (рис. 631), или между валками стана трио (рис. 635), чем избегается потеря времени на обратный перенос изделия.

Непрерывная или сквозная прокатка. Иногда изделие прокатывается в один пропуск между несколькими парами валков, распо-

ложенными друг за другом (рис. 636). Этот процесс называется непрерывной или сквозной прокаткой. Им особенно пользуются для прокатки тонких и вместе с тем длинных изделий, как, например, полос и прутьев. Сечение заготовки постепенно уменьшается и соответственно ему регулируют скорость вращения валков. Такого рода прокатные станы часто устраиваются с чередующимися вертикальными и горизонтальными валками.

Бесконечная прокатка. Бесконечная прокатка производится также между двумя валками, когда форма изделия допускает ее. Например, таким образом прокатывают кольца (рис. 638). Кольцо помещают

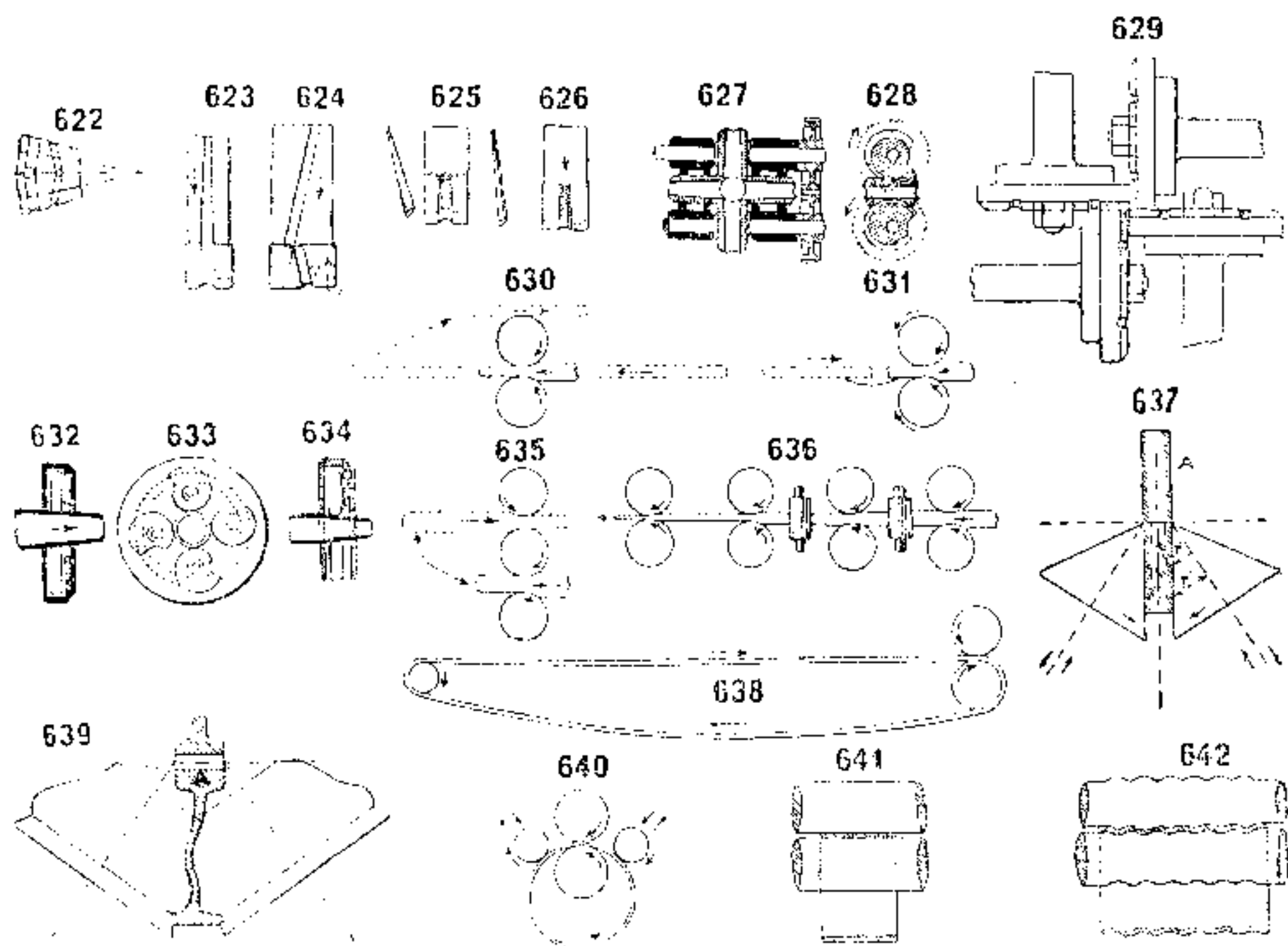


Рис. 622 — 642.

между валками и постепенно раскатывают в бесконечную полосу, направляя натяжным роликом, который можно по мере работы отодвигать.

Таким способом можно получать очень длинные полосы при одном нагреве.

Бесконечная прокатка применяется при производстве колесных бандажей для конных повозок, колец углового сечения, применяемых при сборке котлов, сборке бочек, а также при производстве гладких или волнистых жаровых труб для паровых котлов (рис. 640—642). Бесконечная прокатка применяется также для производства тел вращения как, например, колес и дисков, прокатываемых между двумя коническими валками или валками, профили которых соответствуют профилю изделия *A* (рис. 639). В случае прокатки, изображенном на рис. 640, ось изделия параллельна осям валков. Разность скоростей на линии контакта валков с кольцом не вызывает слишком сильных скольжений, если один из валков вращается вхолостую кольцом соприкасающимся с ним. Однако (рис. 639) если ось вращения

то часть заготовки с большими припусками приходит в соприкосновение с валками только к концу операции, чем избегаются разрывы металла.

В этих случаях всегда лучше пользоваться коническими валками с пересекающимися осями.

Деформации при прокатке между гладкими валками.

Деформации, получающиеся при прокатке между двумя гладкими валками бруска металла, свободно расширяющегося в стороны, тем значительнее, чем больше сжатие и чем больше размеры бруска сравнительно с диаметром валков.

На рис. от 645 до 650 изображен опытный свинцовый брусок шириной 30 мм и толщиной 20 мм, пропущенный один раз между валками диаметром 100 мм и обжатый до толщины в 10 мм.

Для такого обжима в один пропуск, валки и брусок пришлось посыпать наждачным порошком. Без наждачной посыпки валки не могли захватить бруска, так как естественного трения было недостаточно.

На бруске были прочерчены пересекающиеся под прямым углом прямые линии, дающие возможность судить о происходящих деформациях. Давление между обоими валками было установлено перед опытом путем сжатия в покое одного из концов бруска. Деформация части бруска влево от плоскости ab одинакова с деформацией, получающейся под прессом. Частицы металла в плоскости ab , можно сказать, остались на своих местах. Эту плоскость можно принять за плоскость симметрии перед пуском валков в ход. Так как влево от этой плоскости деформация была вызвана давлением, а не прокаткой, то соприкасающиеся с валками поверхности бруска стали вогнутыми. Толщина бруска уменьшилась, а длина его увеличилась также, как и длина рассматриваемой нами части. Эти изменения можно проследить по увеличению расстояний между поперечными линиями.

При начале вращения валков выходящая из-под них часть бруска не подвергалась новым изменениям. Дальнейшая деформация происходила только в части бруска, поступающей под валки.

Справа от плоскости ab под действием прокатки брусок равномерно расширился и удлинился.

Так как давление было сравнительно большое, валки были небольшого диаметра, а начальная толщина бруска сравнительно значительная, то боковые поверхности его оказались вогнутыми (разрез cd) ¹⁾. Вертикальные линии выгнулись вправо, а линии на пресуемых поверхностях остались почти прямыми, исключая только частей их вблизи граней, где они сходятся с линиями боковых поверхностей. Как видно, наиболее сильный сдвиг металла произошел в обоих горизонтальных параллельных слоях, соприкасающихся с валками. Наибольший сдвиг произошел также по ширине бруска. Толщина этих горизонтальных слоев стала меньше толщины других слоев на боковых поверхностях бруска (рис. 645). Это более сильное сжатие поверхностных слоев начинается с момента контакта валков с бруском

¹⁾ То же самое сжатие при одном пропуске между валками диаметром 800 мм. дает выпуклые боковые поверхности, как то видно на разрезе ab , и значительное расширение бруска. По этой деформации можно судить о влиянии диаметра валков. Отношение диаметров валков к толщине бруска — величина весьма переменная. Так, например, валки бронепрокатного стана диаметром в 1 метр, при толщине болванки в 1 метр, работают в менее благоприятных условиях в начале прокатки, нежели в ее конце, когда толщина поковки уменьшится, примерно, до 200 мм.

в точке *Е*. Давление на эту точку развивается быстро, с большой силой, и высаживает металл, одновременно затягивая брусок между валками.

Эти два действия валков сказываются прежде всего на поверхности металла, но как только брусок втянулся между валками на одно деление, размеры его уже мало изменяются, так как он подвергается менее сильным сжимающим усилиям, вследствие замедления скорости сжатия. С момента вступления бруска в промежуток между валками, паружная поверхность металла увлекается сильным трением, вызывающим перемещение его наружных слоев, вследствие чего концы линий на боковых поверхностях бруска выгибаются в направлении движения. Сдвиг металла в средней части бруска происходит медленнее, вызывая поперечный изгиб, который тем сильнее, чем больше сжатие бруска.

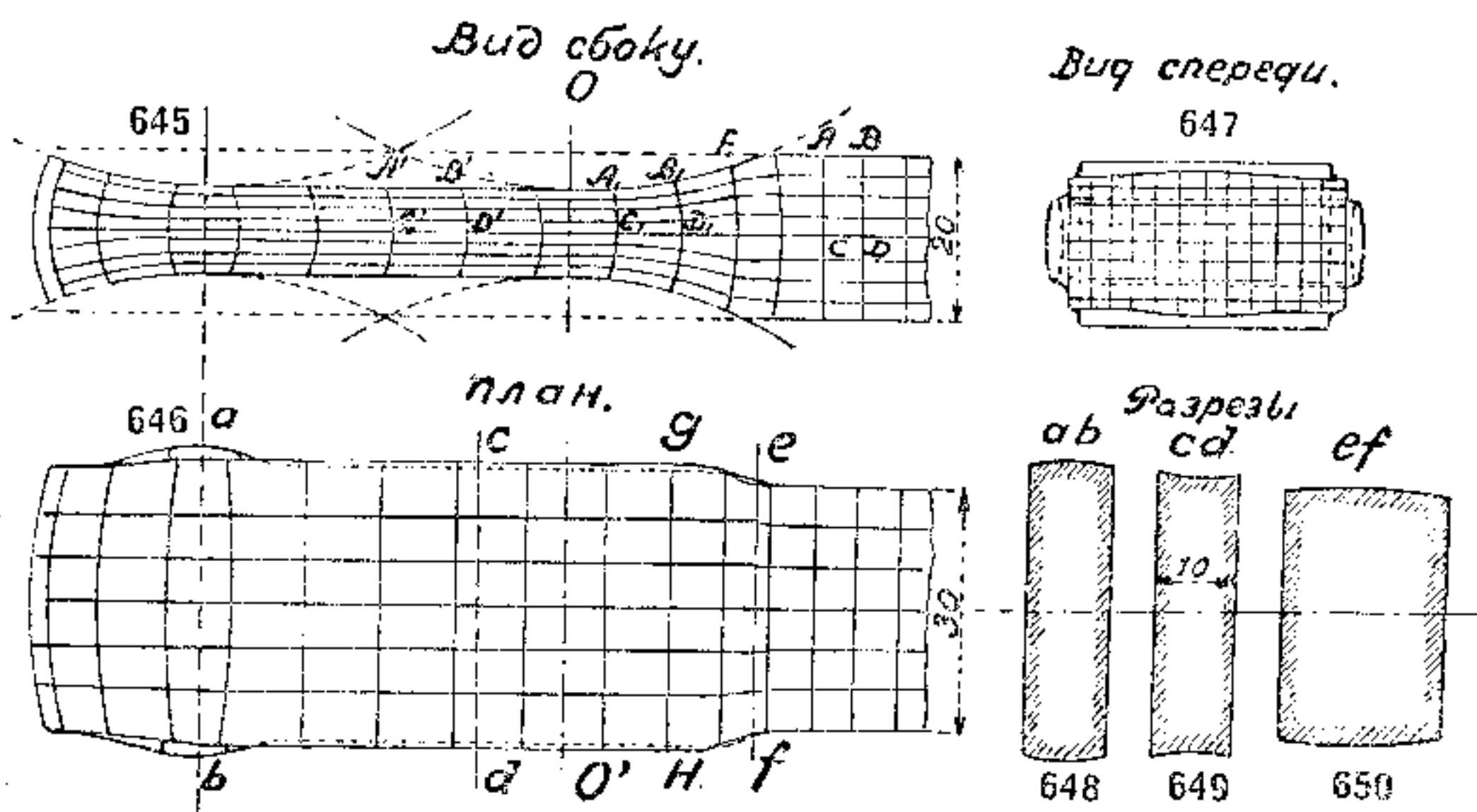


Рис. 645 — 650.

Если металл обладает небольшой упругостью, то при проходе бруска через линию *ОО'* центров валков давление сильно уменьшается, и получившаяся деформация становится остающейся.

Если бы металл был таким же упругим, как, например, резина, то брусок восстановил бы свою первоначальную форму и вся прокатанная часть болванки вернулась бы к своей первоначальной длине и первоначальному сечению, начиная с той точки, где прекращается давление валков.

При металле, обладающем некоторой упругостью, изогнутые прокаткой линии стремятся несколько выпрямиться. При ковких металлах это явление незначительно. Разница в толщине между горизонтальными слоями тем больше, чем уже брусок, а вогнутость или выпуклость боковых поверхностей тем меньше, чем брусок шире. Выпучивание торцов настолько ничтожно, что не оказывает никакого влияния на разницу толщины слоев. Однако, при прокатке в накладку, т.-е. стопой, нескольких тонких изделий, как, например, листов, давления вызывают усилия, направленные под большим углом в глубине металла, нежели на его наружных поверхностях. Вследствие этого, так как частицы в данном случае не тесно связаны между собой, сдвиг

металла в средних листах усиливается. Этот сдвиг бывает настолько сильным, что листы после одного или нескольких пропусков приходится перекладывать, помещая те из них, которые находились в середине стопы вверх или вниз, а верхние и нижние на их место в середину стопы. Кроме того, средние листы вытягиваются больше, вследствие того, что температура внутренних частей раскаленного металла гораздо выше температуры его наружных частей. Поперечная вытяжка бруска меньше его продольной вытяжки, так как направление вращения валков и направления реакций способны вызывать, главным образом, продольный сдвиг частиц. Те же реакции препятствуют деформациям металла во всех направлениях, как то имеет место при действии непосредственным медленным и нормальным к поверхности постоянным давлением.

Поступательное движение, происходящее от трения с валками способствует продольной вытяжке бруска, тогда как нормальные давления вызывают большие поперечные деформации сжатия частиц металла.

Заметим еще, что продольные линии на верхней и нижней поверхностях бруска, соприкасающихся с валками, попарно симметричны относительно его продольной плоскости. Эти линии расходятся сильнее у граней, нежели в середине. Такое явление вполне понятно, так как металл у боковых поверхностей бруска может свободнее расширяться в стороны.

Увеличение ширины бруска происходит до момента контакта металла с валками, вследствие высаживания его частиц частицами, уже подвергающимися действию валков, а также давлениями, которые вызывают выпучивание боковых поверхностей, как то видно на разрезе *ef*. Эти давления проявляются особенно сильной деформацией центральной части бруска, и если бы в этом месте находился конец бруска, способный свободно расширяться, то он дал бы деформацию, одинаковую с деформацией на вступающем конце бруска.

Можно также видеть, что после вступления бруска между валками уширение его почти заканчивается. Когда валки имеют небольшой диаметр, то наружные слои металла высаживаются больше его средних слоев, вследствие чего боковые поверхности бруска, бывшие перед тем вогнутыми, становятся выпуклыми, как то можно видеть на разрезе *cd*.

Уширение бруска прекращается перед проходом линии *OO'* центров валков. Это происходит вследствие того, что, начиная с линии *GII*, трение соприкосновения валков с металлом больше усилия, вызывающего уширение бруска. Начиная с этой линии, сжатие происходит только вследствие продольных сдвигов металла, т.-е. вследствие вытяжки бруска в продольном направлении. Вместе с тем увеличиваются расстояния между вертикальными линиями, прочерченными на боковых поверхностях бруска; линии эти все больше и больше искривляются и принимают окончательную кривизну при проходе линии центров валков.

Поперечные линии на верхней поверхности бруска, как, например, линия *GH*, остаются прямыми, но расстояния между ними быстро возрастают по мере их вступления в валки, точно так же, как и расстояния между вертикальными линиями *EE* на боковой поверхности. После прохода линии *OO'* расстояния между этими линиями остаются неизменными, но уширение бруска уменьшается, начиная с линии *GII*. Это указывает, что начиная с этой линии происходит только слабое сжатие металла.

Заметим также, что расстояния AB и CD , равные перед прокаткой, превращаются в расстояния $A'B'$ и $C'D'$ после прохода центральной плоскости валков. Однако, равенство этих линий не сохраняется на всем протяжении деформаций. Расстояние AB на поверхности бруска удлиняется больше, нежели расстояние CD на средней плоскости. Это происходит вследствие увлечения металла бруска валками. Вслед за тем когда линия A_1B_1 перестает удлиняться под действием трения между металлом и валком, начинается более сильное удлинение линии CD вследствие увлечения металла и давления валков.

Это удлинение, происходящее от давления, значительно больше в средней горизонтальной плоскости, нежели в других плоскостях. Удлинение бруска происходит по всем направлениям как в длину, так и в ширину, и развивающиеся при этом внутренние давления вызывают небольшое увеличение ширины, которое трудно определить, и значительное увеличение длины, которое можно легко измерить.

Что касается относительного удлинения бруска, то надо иметь в виду, что оно несколько больше того, которое соответствует скорости на окружностях валков.

Это удлинение, которое мы назовем „удлинением вследствие давления“, происходит от сдвигов металла за линией центров валков. Металл, находящийся впереди частиц, подвергающихся давлению валков, получает возможность свободно истекать ¹⁾.

Более значительное аналогичное смещение металла в противоположную сторону происходит со стороны вступления бруска, когда трение еще недостаточно для увлечения металла, и вызывает скольжение вала, или, вернее, когда расширение металла происходит главным образом под действием давления. Нельзя, конечно, предполагать, чтобы сильно сжимаемый металл мог расширяться по всей ширине соприкосновения в направлении движения без скольжения. Вследствие этого поступательная скорость металла оказывается меньше скорости на окружности валков.

Особенно бросается в глаза при прокатке то, что увеличение ширины бруска гораздо меньше увеличения длины. Чтобы понять это надо прежде всего иметь в виду, что кривизна валков вызывает симметричные реакции, равнодействующие которых направлены вдоль, а не поперек бруска, вследствие чего металл мало распространяется в ширину. Увеличение ширины бруска происходит только от вертикальных составляющих давлений или реакций, при чем они уравниваются трением валков. Кроме того, трение валков оказывает преобладающее действие и направлено в продольном направлении, отчего сдвиги металла происходят в этом именно направлении. Известно, что при разложении всякого движения на составляющие, действующие по двум направлениям, усилия сцепления или трения пропорциональны скоростям составляющих движений. Так как при прокатке поперечная составляющая равна нулю, то весь эффект сцепления проявляется в продольном направлении.

Так как в данном случае нет составляющих движения в направлениях ширины бруска, то не происходит и бокового сдвига металла от воздействия сцепления валков.

¹⁾ Дени (Annuaire 1877 г.) констатировал разность в удлинении, равную для железного бруска при вишнево-красном калении 54 мм, при длине его в 729 мм. (Разность может колебаться между 1 и 8 процентами, в зависимости от толщины бруска и его сжатия). Ламбер (Bulletin. Октябрь 1877 г.) получил разность, равную при холодной прокатке латунных плит от 2 до 4 процентов. В наших опытах, приводимых ниже, эти значения колебались от 1,5 до 6,5 процента.

Отсюда видно, что уширение бруска было бы больше, если бы валки располагались под углом к направлению их вращения. То же самое произойдет и при пропуске между валками изделия под углом к их осям.

Практика также показала, что увлечение изделия больше при большой скорости и при более значительных диаметрах валков, тогда как при больших диаметрах валков и малой скорости наблюдаются поперечные расширения бруска. Если скорость равна нулю, как, например, в начале деформации (рис. 645), то увеличение ширины бруска достигает максимума, так как составляющие трения в направлении движения не оказывают никакого влияния.

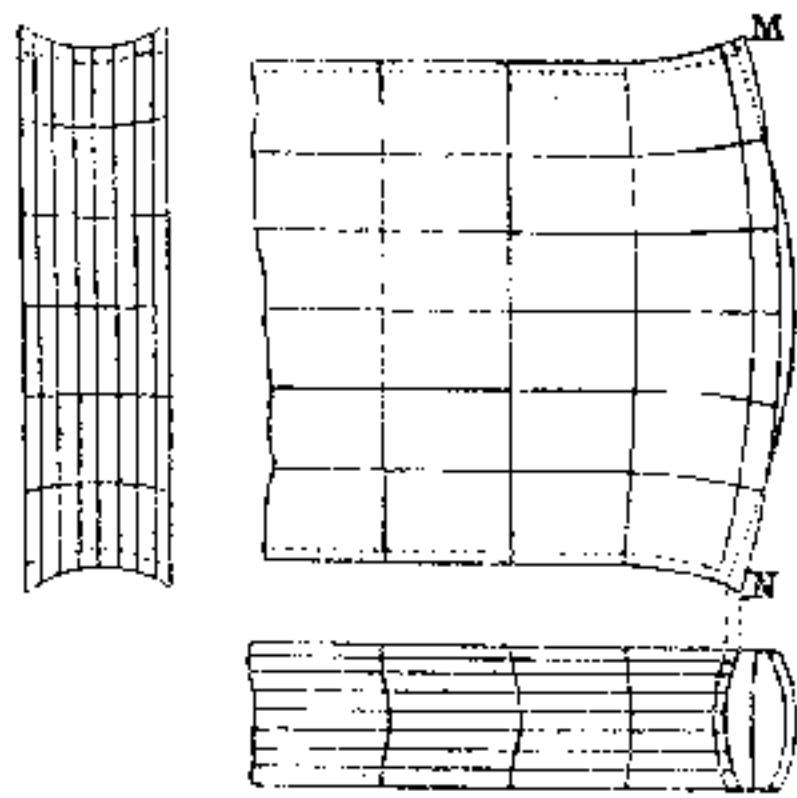


Рис. 651 — 653.

Когда конец изделия проходит между валками, происходит сильный сдвиг металла под действием давления, как то можно видеть на рис. 651 — 653 на выходном конце бруска. Так как металл может свободно расширяться, то конец бруска получает вид рыбьего хвоста. В этом случае особенно вытягиваются грани верхней поверхности бруска, против боковых поверхностей и торец получает вогнутую форму (рис. 651). Наоборот, средняя часть торца вздувается, так как давление оказывает там свой полный эффект.

Давление вызывает значительную деформацию грани *МN*, в результате чего получается довольно сильная кривизна. Точно так же изгибаются остальные поперечные линии верхней поверхности бруска. Кривизна этих линий постепенно уменьшается по мере удаления от торца, пока они не превратятся в прямые линии. Вместе с тем и продольные линии, вследствие сдвигов металла от давления, расходятся между собой, так же как и грани бруска.

Работа прокатки.

Расчитать элементы работы при прокатке весьма затруднительно, а во многих случаях даже невозможно. При расчете приходится основываться на экспериментальных данных, при чем расчет применим только к простейшим случаям, как, например, к случаю прокатки между гладкими валками.

При горячей прокатке необходимо принимать во внимание текучесть металла и его температуру. Однако, в этом случае невозможно определить количество тепла, отдаваемого изделием, или тепла, развиваемого самой прокаткой. Количество этого тепла очень значительно, а потому оно предотвращает быстрое охлаждение изделия, которое в противном случае пришлось бы подогревать несколько раз.

Прокатка таких металлов как медь, железо, сталь и другие, должна производиться в горячую, когда металл обладает наибольшей вязкостью, наименьшим сопротивлением и, вместе с тем, большой текучестью. Прокатка призматической болванки сопровождается ее удлинением и соответствующим уменьшением ее толщины.

Так же как при прессовании или при ковке ударами, отношение удлинения бруска к уменьшению его сечения зависит от радиуса

кривизны инструмента, а именно от радиуса валков и толщины бруска. Чем больше радиус валков и толщина бруска, тем больше его относительное удлинение (см. дальнейшие опыты).

Для превращения прокаткой бруска с начальными размерами abl в брусок, размером $a'b'l'$ (рис. 654), необходимо развить механическую работу, приблизительно пропорциональную объему смещенного металла. Таким образом, если назовем через L коэффициент прокатки, определенный опытным путем в рабочих условиях, то при геометрически подобных испытательных брусках можно написать общее уравнение работы W :

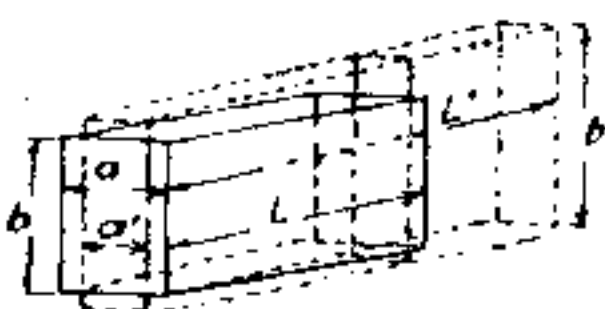


Рис. 654.

$$W = L [a'b' (l' - l) + (b' - b) a'l] = L (a'b'l' - a'bl); \text{ при } b = b'$$

$$W = L [a'b (l' - l)].$$

Коэффициент L изменяется в зависимости от условий прокатки, которые чрезвычайно разнообразны. Коэффициент L необходимо определить опытным путем в рабочих условиях. Тем не менее, исследуя условия, благоприятствующие деформации, можно установить приближенные зависимости, по которым можно рассчитать наиболее рациональные размеры отдельных частей машины, давления, развивающиеся на валках, и потребную для прокатки энергию.

Для упрощения расчета возьмем два гладких валка одинакового радиуса r , симметричных относительно продольной плоскости бруска.

Допустим, что плотность металла — величина постоянная и объем бруска до прокатки равен объему его после прокатки, а именно, что $abl = a'b'l'$.

Прокатка вызывает удлинение бруска, равное $l' - l$, уширение равное $b' - b$, уменьшение толщины или сжатие, равное $a' - a$, и уменьшение сечения, равное $ab - a'b'$.

Точно так же мы имеем следующие отношения размеров обоих брусков:

$$\frac{ab}{a'b'} = \frac{l'}{l}; \quad \frac{ab - a'b'}{a'b'} = \frac{l' - l}{l}.$$

Отсюда видно, что чем больше уменьшается сечение, тем больше удлиняется брусок.

Если ширина b значительна сравнительно с толщиной a бруска, то уширение его $b' - b$ будет очень невелико. Принимая, что в данном случае $b = b'$, будем иметь:

$$\frac{a - a'}{a'} = \frac{l}{l'} - \lambda,$$

где λ — коэффициент вытяжки.

Допустим, что трение между валками и бруском настолько значительно, что совершенно не происходит скольжений и что скорость его при выходе из валков равняется скорости ωr на окружности валков или несколько больше этой скорости, вследствие сжатия бруска.

Допустим также, что валки катятся по неподвижному бруску. Рассмотрим валок C_1 , соприкасающийся с бруском по дуге AB (рис. 655). Элементарное перемещение валка C_1 происходит совершенно так же, как если бы он поворачивался вокруг точки A , как центра. Различные точки дуги AB проходят пути, пропорциональные

на прокатном стане происходит быстрее при малых диаметрах валков, нежели при больших.

Как это всегда имеет место в приводных механизмах, абсолютные потери от трения при передаче одинаковой энергии больше при больших усилиях, нежели при малых. Поэтому прокатка в этом отношении экономичнее при небольших диаметрах валков, нежели при больших. Этот вывод вытекает из опытов, приводимых ниже.

На рис. 656 изображены изменения радиуса r дуги контакта и соответствующее возрастание давлений P .

Энергия прокатки.

Для расчета механической работы прокатки рассмотрим работы равнодействующих давлений P на двух валках C и C_1 .

При относительном перемещении бруска и валка C (рис. 657), дуга соприкосновения AB остается величиной постоянной. По мере элементарного поворота валка вокруг точки A , которая перемещается

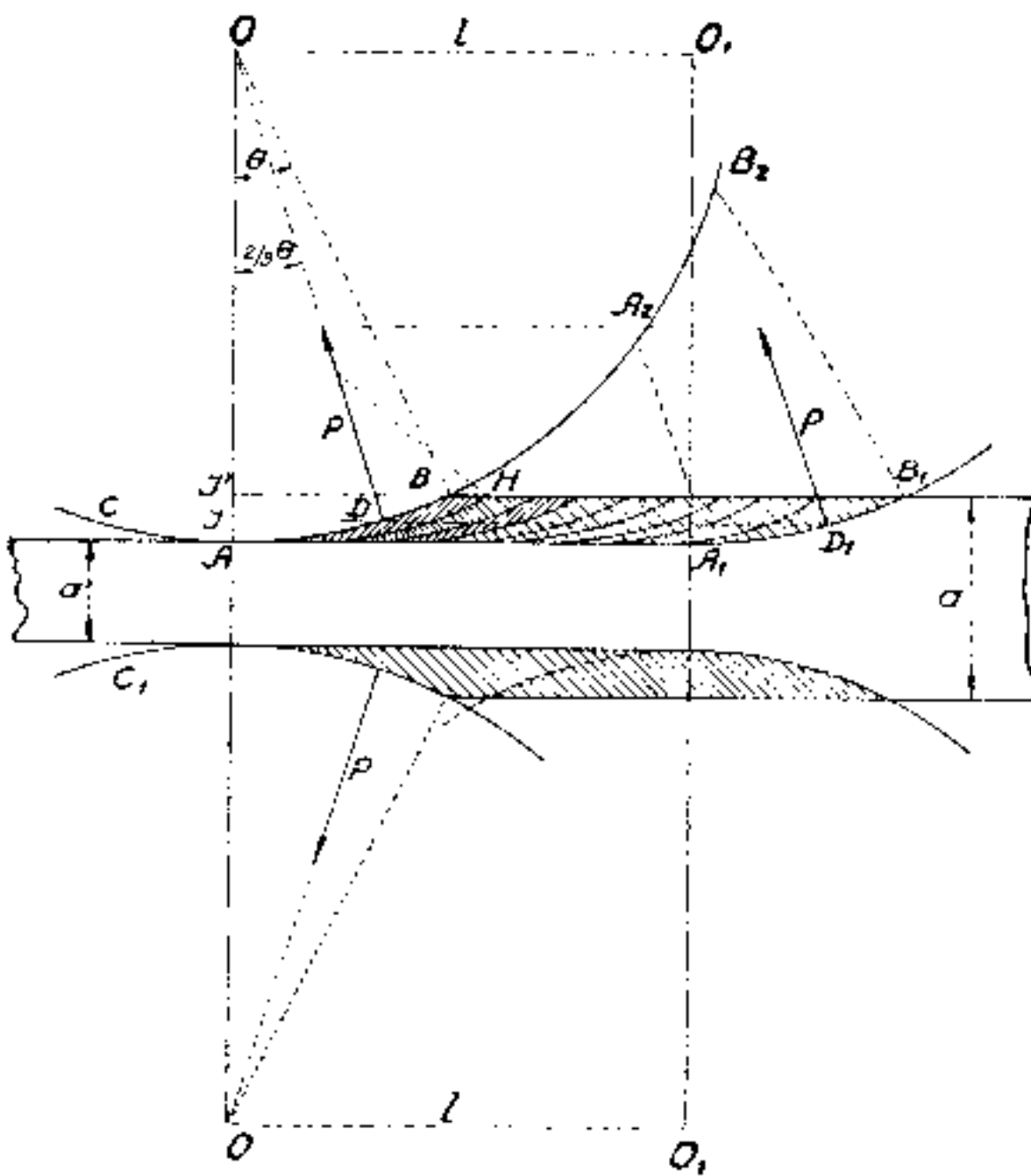


Рис. 657.

по линии AA_1 (принимая вращение валка в направлении AA_1), в соприкосновении с металлом приходят последовательно новые точки валка, расположенные за точкой B . Так как скорость опускания этих точек значительна, то давление, начинаясь от нуля, быстро достигает своего максимального значения.

Отсюда вытекает: 1) что равнодействующая P сохраняет постоянное значение, 2) что элементарная работа, изображенная площадью ABH , остается постоянной при одинаковых перемещениях, 3) что сумма всех элементарных площадей между двумя положениями OO и O_1O_1 оси валка C пропорциональна произведенной работе и 4) что эта

заштрихованная площадь в точности соответствует количеству перемещенного металла. Для двух валков этот объем на единицу длины образующей равняется:

$$AA_1 (a - a') = OO_1 (a - a').$$

Равнодействующая P перемещается параллельно самой себе, причем точка приложения ее движется по прямой линии DD_1 , составляющей с направлением P угол, равный $\left(90^\circ - \frac{2}{3}\theta\right)$.

Работа этой силы, если точка приложения ее D движется со скоростью v , будет:

$$Pv \cos \left(90^\circ - \frac{2}{3}\theta\right) = Pv \sin \frac{2}{3}\theta,$$

для двух валков работа прокатки в секунду будет вдвое больше, т.-е.

$$W = 2Pv \sin \frac{2}{3} \theta.$$

Так как прямая DD_1 , равная прямой AA_1 , равна также длине дуги AA'' , то v — скорость точки приложения усилия P , равняется линейной скорости на окружности валка. Таким образом, если назовем через n число оборотов в минуту, то получим:

$$W = \frac{4\pi rnP}{60} \sin \frac{2}{3} \theta.$$

Выражая $\sin \frac{2}{3} \theta$, как функцию от r и от $a - a'$, можем написать:

$$r \sin \frac{2}{3} \theta = DI = (2r - AI) AI = \sqrt{\left(2r - \frac{2}{3} \cdot \frac{a - a'}{2}\right) \left(\frac{2}{3} \cdot \frac{a - a'}{2}\right)^1}$$

откуда:

$$\sin \frac{2}{3} \theta = \frac{\sqrt{2r \left(\frac{a - a'}{3}\right) - \frac{(a - a')^2}{9}}}{r}$$

и

$$W = \frac{4\pi rnP}{60} \sqrt{2r \left(\frac{a - a'}{3}\right) - \frac{(a - a')^2}{9}}.$$

С другой стороны, согласно формуле (2) на странице 307,

$$P = p \sqrt{r (a - a')}.$$

Подставляя P в выражение W , получим:

$$\begin{aligned} W &= \frac{4\pi rnp}{60} \sqrt{r (a - a')} \left(\sqrt{2r \left(\frac{a - a'}{3}\right) - \frac{(a - a')^2}{9}} \right) = \\ &= \frac{4\pi rn}{60} \left[p (a - a') \sqrt{\frac{2}{3} - \frac{a - a'}{9r}} \right]. \end{aligned}$$

Значением $\frac{a - a'}{9r}$ можно пренебречь, отчего уравнение работы в одну секунду на единицу ширины бруска примет вид:

$$W = \frac{4\pi rnp}{60} (a - a') \sqrt{\frac{2}{3}}.$$

Так как скорость $v = \frac{2\pi rn}{60}$, то мы будем иметь:

$$W = 2vp (a - a') \sqrt{\frac{2}{3}} = 1,6 \, vp (a - a').$$

При заданной длине прокатки $AA_1 = l$ и ширине бруска, равной b , работа будет:

$$W = 1,6 \, plb (a - a') = 1,6 \times \text{объем смещенного металла}.$$

При простом поперечном сжатии мы нашли:

$$W = 2p \times \text{объем смещенного металла}.$$

¹⁾ AI из подобия треугольников ABP и ADI , равно $\frac{2}{3} \cdot \frac{a - a'}{2}$ (рис. 657).

Отсюда вытекает, что полезная энергия прокатки и прессования для одинаковых удлинений и при одинаковых значениях p , относятся друг к другу как $\frac{1,6}{2}$.

Полезная энергия прокатки зависит, главным образом, от среднего давления p . (Как мы уже видели в случае простого непосредственного сжатия, давление p изменяется с величиной сжатия $a - a'$ поковки). Давление это больше при тонких изделиях, нежели при толстых. Давление точно так же зависит от скорости сжатия, т.-е. от скорости на окружности вала.

Это влияние скорости менее заметно при больших валах, нежели при валах небольшого диаметра, так как металл в первом случае высаживается не столь быстро.

Полезная механическая работа прокатки, не принимая во внимание трения в частях машины, в пределах практики и при одной и той же скорости, не зависит от диаметров валков.

Принимая во внимание трение шеек валков, коэффициент полезного действия прокатки зависит, главным образом, от степени сжатия изделия.

Трение в подшипниках зависит от величины давления P , развивающегося при прокатке. Это давление разделяется поровну на обе шейки вала. Если назовем через f' коэффициент трения, через r' — радиус шеек, через v' — скорость на окружностях, то работа трения для обоих валков равняется:

$$W' = 2Pf'v' = 4Pf' \frac{\pi r' n}{60}.$$

Так как работа прокатки равняется:

$$W = \frac{4\pi r n P}{60} \sin \frac{2}{3} \theta,$$

то отношение работ будет:

$$\frac{W'}{W} = \frac{r'}{r \sin \frac{2}{3} \theta} = \frac{r' f'}{\sqrt{2r \left(\frac{a - a'}{3} \right)^2 - \left(\frac{a - a'}{3} \right)^2}}.$$

Коэффициент полезного действия прокатки при данных валах будет тем больше, чем меньше это отношение, т.-е. чем больше $a - a'$, т.-е. сжатие бруска в один пропуск. Таким образом, выгоднее производить прокатку при небольшом, нежели при большом количестве пропусков.

Если Q — движущее усилие, действующее на плечо L одного вала (рис. 658), то можно написать следующее уравнение:

$$\begin{aligned} 2QL &= 2r'Pf' + 2P' \left(r \cos \frac{2}{3} \theta \right) = 2Prf' + 2Pr \sin \frac{2}{3} \theta \cos \frac{2}{3} \theta = \\ &= P \left(2r'f' + r \sin \frac{4}{3} \theta \right). \end{aligned}$$

В виде числового примера рассмотрим случай прокатки железной плиты при высокой температуре. Толщина плиты $a = 50$ мм уменьшается до $a' = 40$ мм, ширина плиты $b = 2000$ мм, среднее давление $p = 10$ кг/мм², радиус валков $r = 400$ мм, радиусы шеек $r' = 300$ мм, число оборотов в минуту $n = 40$.

Полное давление или равнодействующая реакций металла на каждый валок (рис. 658) равняется:

$$P = bp \sqrt{r(a - a')} = 2\,000 \times 10 \times \sqrt{400 \times 10} = 1\,260\,000 \text{ кг.}$$

Энергия прокатки в секунду равняется:

$$W = 1,6 bvp(a - a') = 1,6 \times 2\,000 \times \frac{3,14 \times 0,800 \times 40 \times 10 \times 10}{60} = 512\,000 \text{ кг. м.}$$

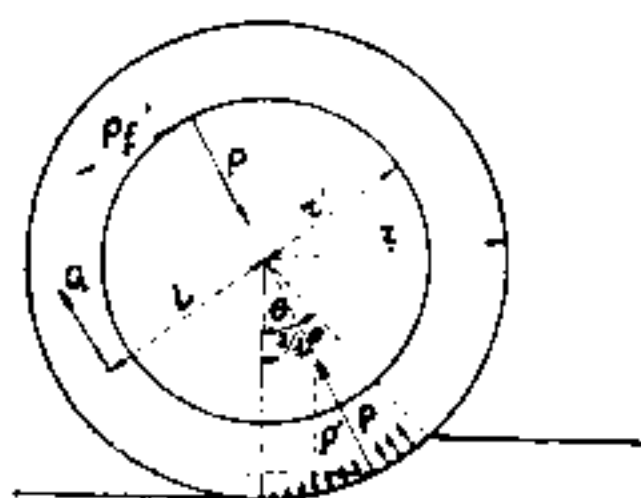


Рис. 658.

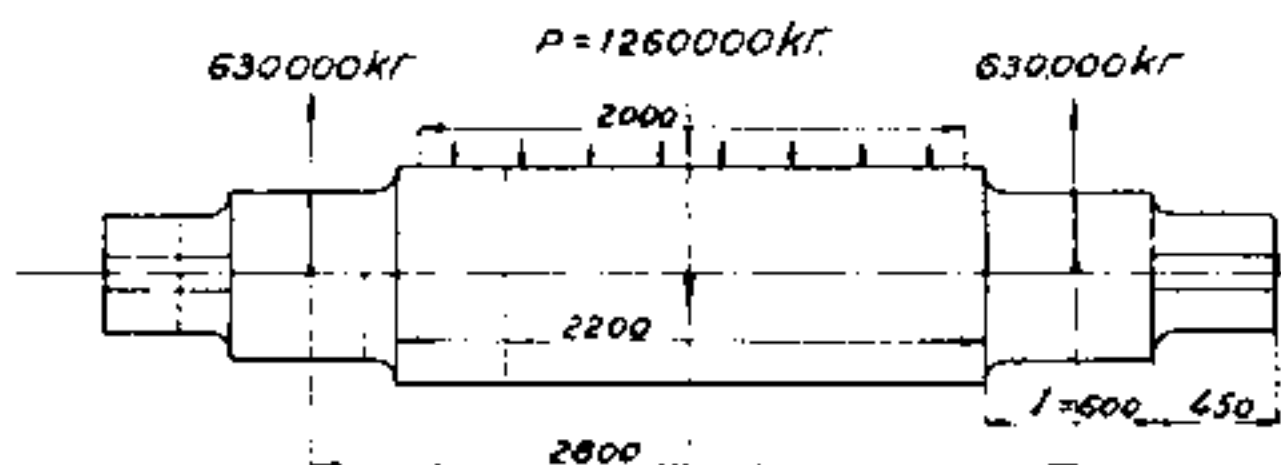


Рис. 659.

Работа трения на четырех шейках валков при $f = 0,1$ будет

$$W' = \frac{4P'f\pi r'n}{60} = \frac{4 \times 1\,260\,000 \times 0,1 \times 3,14 \times 0,300 \times 40}{60} = 316\,500 \text{ кг. м.}$$

Таким образом, получаем отношение:

$$\frac{W'}{W} = \frac{316\,500}{512\,000} = 0,62.$$

Полная затрата энергии валками в одну секунду равняется

$$W_n = 828\,500 \text{ кг. м или } 11\,000 \text{ лш. сил.}$$

Коэффициент полезного действия будет:

$$\frac{W'}{W_n} = \frac{512\,000}{828\,500} = 0,62.$$

Реакция на единицу сечения у основания шейки (рис. 659), при $l = d = 600$ мм, будет:

$$R = \frac{32}{\pi d^3} \cdot \frac{P}{2} \cdot \frac{l}{2} = \frac{32 \times 630\,000 \times 300}{3,14 \times 600^3} = 8,7 \text{ кг/мм}^2.$$

Такое напряжение выдерживает всякая хорошая твердая сталь или сталь средней твердости.

Давление на единицу проекции опорной поверхности подшипника, шириной 400 мм и длиной 600 мм, оказывается равным:

$$\frac{630\,000}{400 \times 600} = 2,6 \text{ кг/мм}^2.$$

Это значение большое, оно затрудняет смазку, предупреждающую, нагревание подшипника и понижающую коэффициент трения.

Работа трения на каждой шейке равняется $\frac{316\,500}{4} = 79\,125 \text{ кг. м.}$, что на кубический миллиметр объема шейки составит:

$$\frac{79\,125 \times 4}{3,14 \times 600^2 \times 600} = 0,00047 \text{ кг. м.}$$

Количество тепла, поглощаемого в одну секунду соприкасающимися частями, составляет:

$$\frac{79\,125}{425} = 186 \text{ калорий.}$$

Так как расстояние между осями обеих шеек равняется 2 800 мм, то реакция изгиба на среднее сечение вала будет:

$$R = \frac{32Pl}{8\pi d^3} = \frac{32 \times 1\,260\,000 \times 2\,800}{8 \times 3,14 \times 800^3} = 8,6 \text{ кг/мм}^2.$$

Стрела прогиба оси вала приблизительно равняется:

$$f = \frac{5Pl^3}{384EI} = \frac{5 \times 64 Pl^3}{384 E d^4 \pi} = \frac{5 \times 64 \times 1\,260\,000 \times 2\,800^3}{384 \times 20\,000 \times 800^4 \times 3,14} = 1 \text{ мм.}$$

Момент вращения, соответствующий полной мощности W_n , будет:

$$M_r = QL = \frac{W_n}{\omega} = \frac{30 \times 828\,500}{3,14 \times 40} = 19\,600 \text{ кг. м} = 196\,000\,000 \text{ кг. мм.}$$

Напряжение в шейке со вписанным в трезуб диаметром в 500 мм составляет:

$$R = \frac{16 \times M_r}{\pi d^3} = \frac{16 \times 196\,000\,000}{3,14 \times 500^3} = 8 \text{ кг/мм}^2.$$

Реакция кручения в самой шейке будет:

$$\frac{8 \times 500^3}{600^3} = 4,6 \text{ кг/мм}^2.$$

Рассмотрим еще случай холодной прокатки медной плиты, для которого $p = 40$ кг, $a = 10$ мм, $a' = 8$ мм, $b = 400$ мм, $r = 250$ и $n = 30$,

$$v = \frac{2\pi \cdot r n}{60} = \frac{2 \times 3,14 \times 0,250 \times 30}{60} = 0,785 \text{ м/сек.}$$

Давление на каждый валок будет:

$$P = b p \sqrt{r(a - a')} = 400 \times 40 \sqrt{250(10 - 8)} = 355\,200 \text{ кг.}$$

Полезная энергия прокатки в одну секунду равняется:

$$W = 1,6 b v p (a - a') = 1,6 \times 400 \times 0,785 \times 40 (10 - 8) = 40\,202 \text{ кг. м.}$$

Затрата энергии на трение шеек, радиусом $r' = 200$ при коэффициенте трения $f' = 0,1$, будет:

$$W' = \frac{4 P f' \pi r n}{60} = \frac{4 \times 355\,200 \times 0,1 \times 3,14 \times 0,200 \times 30}{60} = 44\,613 \text{ кг. м,}$$

откуда:

$$\frac{W'}{W} = \frac{44\,613}{40\,202} = 1,1.$$

Полная затрата энергии равняется $W_n = 84\,815$ кг. м = 1 130 л. с. Коэффициент полезного действия валков равняется:

$$\frac{40\,202}{84\,815} = 0,47.$$

Таким образом, в этом случае работа трения шеек валков больше полезной работы прокатки.

Из этих примеров видно, каких громадных усилий требует прокатка таких изделий, как плиты, листы и т. п.

Для уменьшения трения шеек необходима смазка подшипников под давлением, при чем надо особенно опасаться попадания в подшипники пыли. Для уменьшения давления на единицу поверхности шеек необходимо увеличивать их длину и диаметр. Для предупреждения нагревания необходимо энергичное циркуляционное водяное охлаждение.

Иногда шейки ставят на четыре ролика, чем в значительной степени уменьшают нагревание и трение, в особенности трение в прокатных станах для холодной прокатки.

Захват валками.

Мы допускали, что между изделием и валками не происходит скольжения. Отсутствие скольжения это — обязательное условие прокатки, которая в противном случае невыполнима. Поэтому необходимо, чтобы трение между изделием и валками равнялось $2Pf = 2F$. Такого трения достаточно, чтобы вызвать равнодействующую $2F'$ (рис. 660), направленную по продольной оси изделия и превышающую равнодействующую нормальных реакций $2P'$, отталкивающих изделие. Эта последняя равнодействующая также направлена по оси изделия, но в направлении, обратном равнодействующей $2F'$. В данном случае мы допускаем, что оба валка работают от привода. Если же приводным является только один валок, то равнодействующая трения будет равняться только F' и должна быть больше $2P'$.

Нормальные реакции P и силы трения Pf складываются, как показано на рис. 660, и направлены в сторону, обратную движению бруска. При этом реакции P дают равнодействующую $2P'$; силы же трения Pf направлены в сторону движения бруска. Сложение их дает силу $2F'$.

Если $2F'$ больше $2P'$, захват бруска не требует дополнительного усилия в направлении движения.

Если $2F'$ меньше $2P'$, необходимо или дополнительное толкающее усилие со входной стороны, или вытягивающее усилие со стороны выхода бруска из валков. Толкающее усилие оказывает на вытяжку бруска неблагоприятное влияние, тогда как вытягивающее усилие наоборот — благоприятно.

Приложение толкающего усилия необходимо тогда, когда при подаче изделия к валкам последние еще не развивают давления, а потому еще не существует трения.

Чтобы усилить захват при больших степенях сжатия бруска, как, например, при обжиге, в валках устраивают глубокие вырезы,

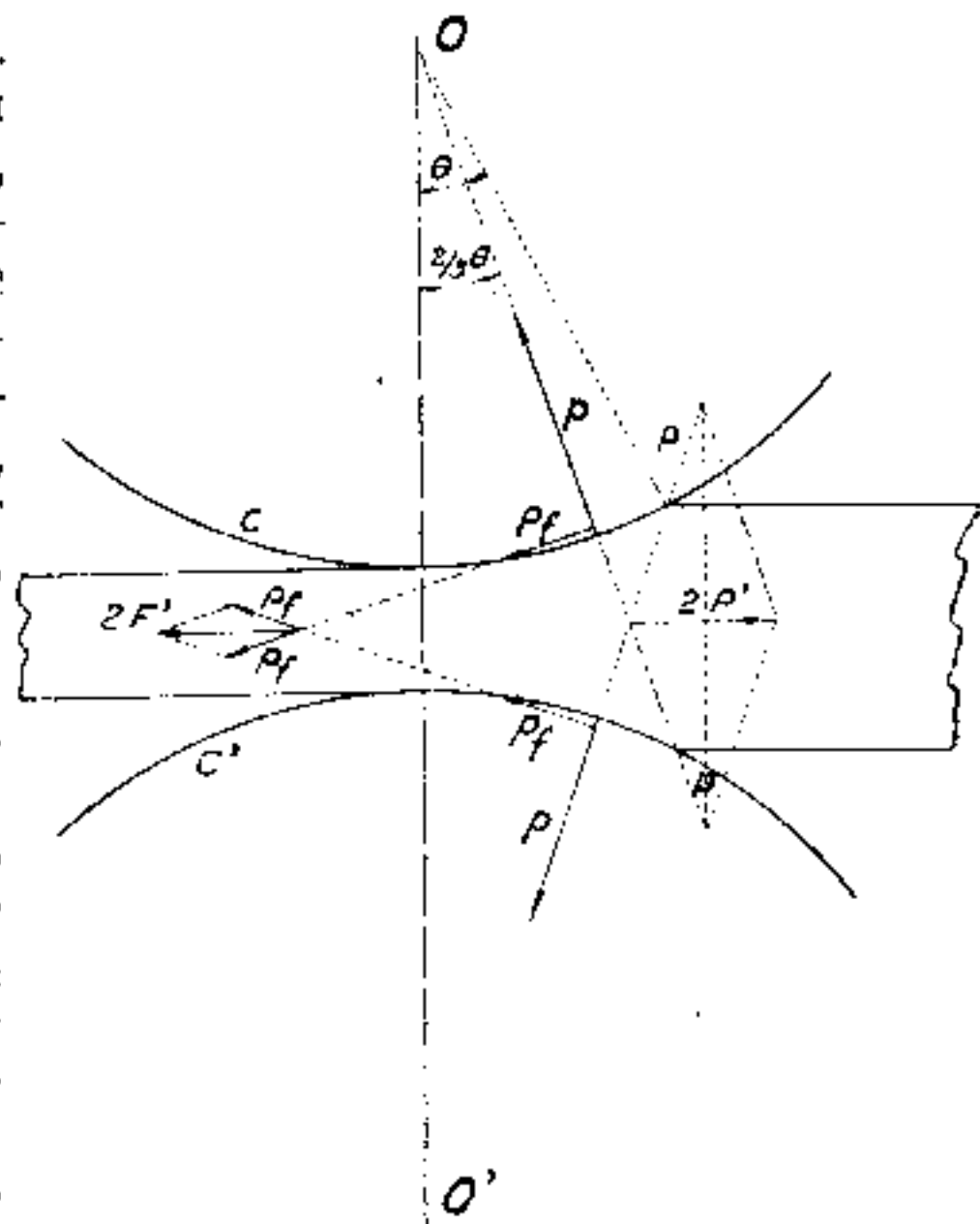


Рис. 660.

захватывающие и протаскивающие заготовку. Точно так же при таком металле как свинец, для значительных сжатий небольших изделий, на валках делают небольшие более или менее глубокие насечки.

Радиусы валков оказывают громадное влияние на зависимость $2F' \approx 2P'$, так как реакции P возрастают пропорционально радиусу.

По мере увеличения радиуса, значения $2P'$ уменьшаются и достигают нуля при радиусе, равном бесконечности, т.е. когда поверхности соприкосновения становятся параллельными. Наоборот, значение Pf и его проекции F' непрерывно возрастают. При радиусе, равном бес-

конечности, значение Pf достигает максимума равного F' . На рис. 661 изображены изменения P , P' , Pf и F' , соответствующие нескольким значениям r при неизменной величине сжатия ($a \text{ --- } a'$).

На этом рисунке изображена только одна из двух сил P , вызывающая силу трения Pf и дающая проекции P' и F' .

Силы P пропорциональны дугам соприкосновения. Силы Pf вычерчены в том же масштабе и соответствуют значению $f = 0,3$, т.е. тому случаю, когда валки покрыты насечками.

Заметим, что при наименьшем радиусе r_1 значение F'_1 меньше значения P'_1 , вследствие чего будет происходить скольжение. При других ради-

усах: $F'_2 > P'_2 \dots F'_4 > P'_4$, при чем это неравенство постоянно возрастает.

Во избежание скольжения валков не следует слишком уменьшать диаметров последних.

Коэффициент трения также имеет громадное значение. При холодной прокатке он изменяется от 0,1 до 0,2 в зависимости от состояния поверхности валков и характера металла. При горячей прокатке этот коэффициент возрастает и достигает от 0,15 до 0,2, если только металл не начинает расплавляться. Если металл находится в тестообразном состоянии, то коэффициент трения можно принимать равным от 0,12 до 0,15 ¹⁾. В случае если валки имеют насечки, этот коэффициент значительно больше.

¹⁾ Эти коэффициенты меньше для чистовых валков, поверхности которых отполированы лучше поверхностей обжимных валков. Непосредственные опыты над трением прокатки в горячую с хорошо отполированными валками показывают, что коэффициент трения мало отличается от такого же коэффициента при холодной прокатке металла и что эти коэффициенты мало разнятся от коэффициента трения железа по чугуну, равного 0,15.

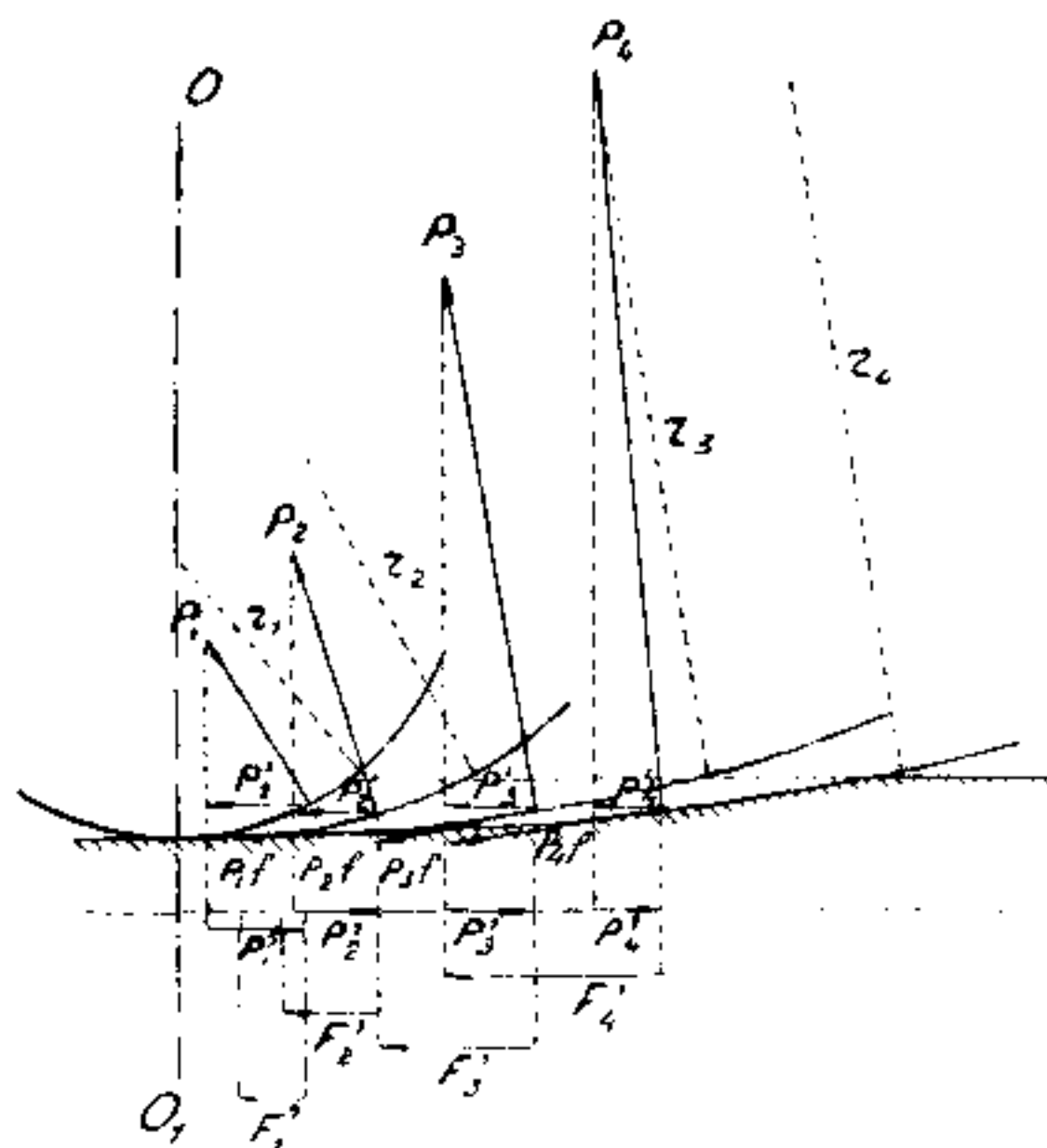


Рис. 661.

О влиянии величины радиуса и коэффициента трения можно судить по зависимостям между величинами сил $2P'$ и $2F'$ и по другим элементам прокатки. На рисунке 660 видно, что:

$$2P' = 2P \sin \frac{2}{3} \theta = 2p \sqrt{r(a - a')} \cdot \sin \frac{2}{3} \theta,$$

$$2F' = 2P f \cos \frac{2}{3} \theta = 2p \sqrt{r(a - a')} \cdot f \cdot \cos \frac{2}{3} \theta.$$

Таким образом, по мере приближения $\sin \frac{2}{3} \theta$ к нулю, когда значение r стремится к бесконечности, $2P$ также стремится к нулю.

При $\cos \frac{2}{3} \theta$, приближающемся к единице, r стремится к бесконечности, а $2F'$ быстро возрастает и стремится к значению:

$$2pf \sqrt{r(a - a')}.$$

Допустим, что $2P' = 2F'$, т.-е. условие, близкое к скольжению валков, которое имеет место при малых радиусах валков и при том же сжатии $a - a'$. В этом случае имеем:

$$\frac{2P'}{2F'} = \frac{\sin \frac{2}{3} \theta}{f \cos \frac{2}{3} \theta} = \frac{1}{f} \operatorname{tg} \frac{2}{3} \theta = 1,$$

откуда:

$$f = \operatorname{tg} \frac{2}{3} \theta = \frac{DI}{OI}.$$

Так как:

$$DI = r \sin \frac{2}{3} \theta = \sqrt{2r \left(\frac{a - a'}{3} \right) - \left(\frac{a - a'}{3} \right)^2} \text{ и } OI = r - \frac{a - a'}{3}.$$

Подставляя эти выражения в вышеприведенную формулу, получим:

$$f = \frac{r \sin \frac{2}{3} \theta}{r - \frac{a - a'}{3}} = \frac{\sqrt{2r \left(\frac{a - a'}{3} \right) - \left(\frac{a - a'}{3} \right)^2}}{r - \frac{a - a'}{3}}.$$

Эта зависимость позволяет рассчитать коэффициент трения f или, зная его, рассчитать предельное сжатие $a - a'$ при данном радиусе r валков.

Пренебрегая выражениями $\left(\frac{a - a'}{3} \right)^2$ и $\frac{a - a'}{3}$, которые очень малы сравнительно с радиусом r , получаем, что:

$$f = \frac{\sqrt{\frac{2r(a - a')}{3}}}{r},$$

откуда:

$$a - a' = \frac{3f^2 r}{2}.$$

Эта зависимость показывает, что сжатие тем больше, чем больше r , и что оно пропорционально квадрату коэффициента трения, значение которого меньше единицы. Таким образом, при значениях

$$f = 0,1 \quad 0,2 \quad 0,3 \quad 0,4$$

находим, что $a - a' = 0,015 r \quad 0,06 r \quad 0,135 r \quad 0,24 r$.

Наименьший допустимый радиус будет:

$$r = \frac{2(a - a')}{3f^2}.$$

Если известны реакции P , размеры валков, их скорость и коэффициент трения f , при котором происходит их скольжение, то, зная $2P'$, мало отличающееся от значения $2F'$, можно рассчитать работу прокатки при значении $2P$, несколько большем $2F'$, и полагая, что эта работа равняется работе скольжения.

Таким образом:

$$W = 2Pfv = Pv \sqrt{\frac{2r(a - a')}{3}} = 2P_0 v \sqrt{\frac{2r(a - a')}{3}}.$$

Изгиб изделия при прокатке.

Трение $2Pf$, развивающееся на обоих валках, соприкасающихся с металлом бруска, увлекает сперва ближайшие частицы металла в направлении вращения. Эти частицы высаживают центральные кристаллоиды металла в направлениях, соответствующих парциальным давлениям, после чего центральные частицы увлекаются в свою очередь вперед. Эти относительные перемещения металла тем значительнее, чем больше сжатие и чем меньше толщина бруска. Таким образом, при одном и том же перемещенном прокаткой объеме металла, затраченная механическая работа больше при малой толщине изделия, нежели при большой, совершенно так же, как и при непосредственном давлении, т.-е. при прессовании.

Перемещение поверхностных частиц вследствие сцепления с валками иногда вызывает трещины и разрывы металла. Те и другие особенно значительны при неоднородном и мало текучем металле, так, например, в пакетах и отливках, температура которых на поверхности выше, нежели в середине. Поэтому сварку пакетов предпочитают производить между валками большого диаметра, дающими сильное давление, распределяющееся на большую поверхность и тем способствующее сварке. По этой же причине при холодной прокатке некоторых сортов бронзы, латуни и других малотекучих металлов валки слегка смазывают. Такой смазкой удастся уменьшить коэффициент сцепления, заставляющий ограничивать сжатие для предупреждения поверхностных трещин.

Диаметры валков обычно несколько отличаются друг от друга (на несколько сантиметров), тем не менее, если только один из них не работает вхолостую, они вращаются с одинаковыми угловыми скоростями.

Можно допустить, что реакции, действующие на каждый валок, одинаковы и что сцепление достаточно для предупреждения скольжения. Отсюда вытекает, что количество смещаемого металла со стороны изделия, соприкасающегося с большим валком, больше такого же количества металла, смещаемого на стороне меньшего валка. Вследствие этого происходит изгиб изделия в направлении валка меньшего диаметра. Последний предпочитают располагать ниже валка большего диаметра для облегчения установки приспособления, выправляющего изделие при его выходе из валков.

Реакции (рис. 662), P и P_1 стремятся уравниваться, так как если P больше P_1 , то изделие изгибается со стороны входа в валки, дуга AB сопри-

косновения уменьшается, а дуга A, B , увеличивается. Таким образом, как равные так и неравные силы P или P_1 , действующие под равными или неравными углами к горизонтали, дают равнодействующую $2P'$ под углом к оси изделия. Последнее изгибается под действием наклонного усилия $2P'$, сохраняя при выходе из валков свою кривизну, получившуюся при входе. С этой кривизной слагается кривизна, получающаяся вследствие неровного сдвига металла на поверхностях соприкосновения с валками.

Добавим, что давление валков, вызывающее в случае одинаковых диаметров симметричный изгиб изделия, приводит к тому, что последнее остается прямым. При разнице в диаметрах валков происходит неравный изгиб: больший в сторону вала меньшего диаметра, нежели в сторону вала большего диаметра. Это можно проверить, наложив друг на друга два бруска одинаковой толщины, и прокатывая их между двумя валками, как то показано на рис. 663.

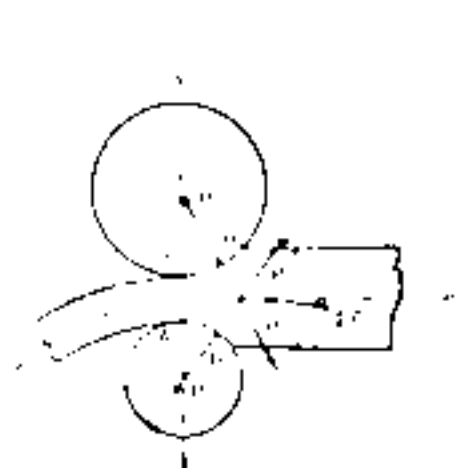


Рис. 662—663.

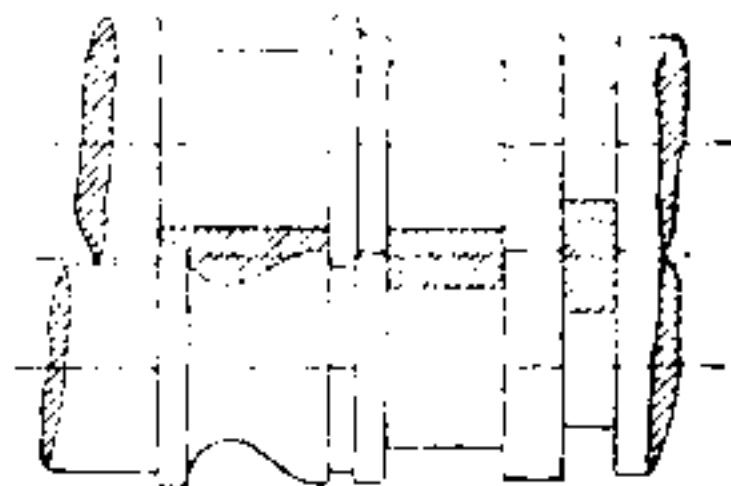


Рис. 664.

Если валки с ручьями, то металл совершенно заполняет последнее, вследствие чего возникают значительные боковые давления на стенки или щеки ручьев, формирующие изделие.

Расстояния различных точек поверхности щек от оси вращения не одинаковы, вследствие этого не одинаковы и скорости этих точек. Возникающие разности скоростей вызывают скольжения тем большие, чем больше или меньше скорости данных точек сравнительно со скоростью изделия.

Боковые давления невозможно рассчитать, а также и работу скольжения на боковых поверхностях ручьев. Для уменьшения этой работы до минимума сечение изделия располагают в ручье таким образом, чтобы разности между диаметрами были возможно меньше. Таким образом, при прямоугольном сечении изделия, длинные стороны прямоугольника должны быть параллельны осям валков.

Асимметричные сечения изделий (рис. 664) вызывают реакции, равнодействующие которых направлены под углом к горизонтали. Эти изделия изгибаются в вертикальной плоскости или в плоскости, составляющей с ней некоторый угол. В этом случае изделие приходится выпрямлять и соответствующим способом направлять.

Можно так же придавать изделиям кривизну в обратную сторону, в точности соответствующую искривлению после охлаждения от неравномерного сокращения.

Другой способ расчета работы прокатки и коэффициента трения.

Уравнение равновесия сил при прокатке можно легко составить следующим способом.

Обозначим через p' (рис. 665) давление на единицу поверхности отрезка шириной ds , бруска шириной b .

Давление на элементарную площадку $b \cdot ds$ будет равняться:

$$dP = bp' \cdot ds = bpr d\theta'.$$

Примем, что $\frac{p'}{p_1} = \frac{\sin \theta'}{\sin \theta}$, откуда $p' = \frac{p_1 \sin \theta'}{\sin \theta} = p \sin \theta'$, полагая $p = \frac{p_1}{\sin \theta}$. Вследствие этого мы будем иметь, что $dP = pbr \sin \theta' d\theta'$.

Полное давление на валок будет равняться сумме давлений dP от 0 до θ или:

$$P = pbr \int_0^\theta \sin \theta' d\theta' = pbr (-\cos \theta')_0^\theta = pbr (1 - \cos \theta),$$

так как:

$$r(1 - \cos \theta) = \frac{a - a'}{2},$$

то:

$$P = pb \cdot \frac{a - a'}{2} = \frac{p_1 b}{\sin \theta} \cdot \frac{a - a'}{2}.$$

Так как все давления на оба валка симметричны относительно оси бруска, то они дают равнодействующую, направленную по этой оси. Значение равнодействующей рассчитывается по проекциям составляющих давлений на эту ось.

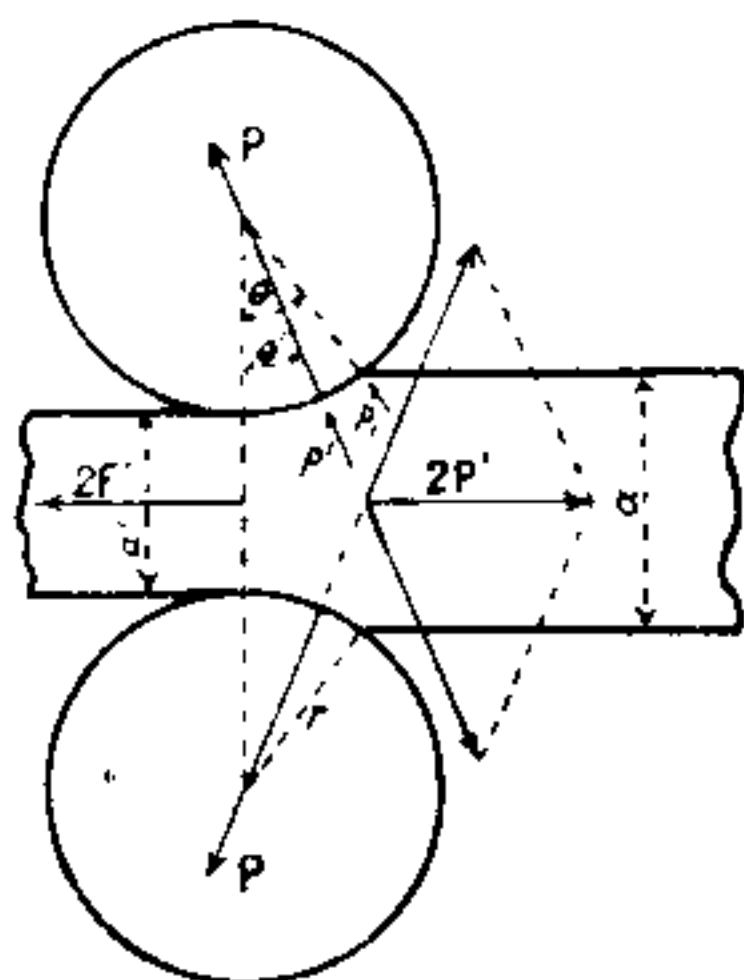


Рис. 665.

Проекция составляющего давления dP равняется:

$$dP \sin \theta' = pbr \sin^2 \theta' d\theta',$$

а сумма таких давлений на два валка будет:

$$2P' = 2pbr \int_0^\theta \sin^2 \theta' d\theta' = 2pbr \left(\frac{\theta}{2} - \frac{\sin 2\theta}{4} \right)$$

или:

$$2P' = \frac{2p_1 br}{\sin \theta} \left(\frac{\theta}{2} - \frac{\sin 2\theta}{4} \right).$$

Работа прокатки при скорости v на окружности валков будет:

$$2P'v = \frac{2p_1 brv}{\sin \theta} \left(\frac{\theta}{2} - \frac{\sin 2\theta}{4} \right).$$

Сила сцепления или сила трения обоих валков равняется:

$$2Pf = 2F.$$

Так как трения симметричны, так же как и давления, то они дают равнодействующую, направленную по оси бруска, значение которой равняется сумме проекций. Поэтому:

$$2F' = 2pbrf \int_0^\theta \sin \theta' \cos \theta' d\theta' = pbrf \sin^2 \theta.$$

Условия равновесия близки к условиям увлечения бруска

$$2P' = 2F''$$

или:

$$\frac{\theta}{2} - \frac{\sin 2\theta}{4} = f \frac{\sin^2 \theta}{2},$$

откуда

$$f = \frac{b - \frac{\sin 2\theta}{2}}{\sin^2 \theta}.$$

Таким образом, при $\theta = 30^\circ$ получим

$$f = \frac{\frac{6,28}{12} - 0,44}{0,25} = \frac{0,062}{0,25} = 0,25.$$

Опыты над прокаткой.

Опыты над горячей прокаткой не дают достаточной степени точности, вследствие быстрого изменения температуры металла. Поэтому мы производили опыты вхолдную со свинцом, т.-е. с металлом, текучесть которого, вязкость и сопротивление вполне удовлетворяют требованиям этих опытов.

Чтобы уменьшить до минимума ошибки, происходящие от потерь в приводном механизме, мы намотали на каждый валок железную проволоку, оба сводных конца которой прикрепили к динамометру (рис. 666), эту проволоку мы вытягивали таями, веревка от которых наматывалась на лебедку. Тянувшее усилие измерялось динамометром, показывавшим касательное движущее усилие, действующее на каждый валок. Кроме того, при этом способе оба валка поворачивались без толчков и скольжения.

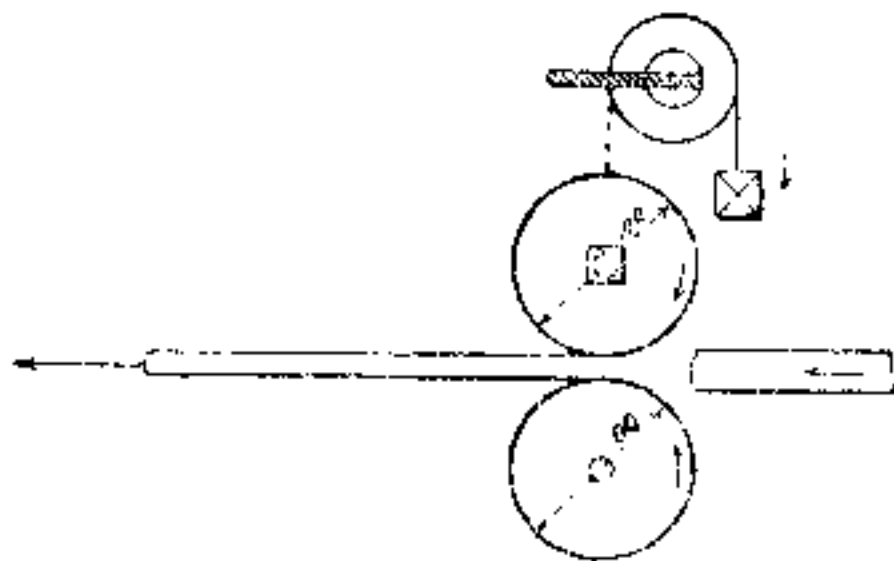


Рис. 666.

Давление производилось винтами, связанными с геликоидальными и другими шестернями, установленными на валу со шкивом, на который был намотан ремень с грузом, вызывавшим давление.

Операция производилась при малой скорости вращения валков, чтобы избежать ударов и чтобы грузы могли развивать давление с самого начала прокатки.

Давление, производимое грузом, приводившим в действие винт, измерялось непосредственно динамометром, соединенным с верхним подвижным валком.

Каждому грузу, вызывавшему давление валка, соответствовало движущее усилие, преодолевающее вместе с тем трения в прокатном стане. Это усилие также измерялось динамометром, связанным с тянущей проволокой, и составляло тару, величину которой мы в большинстве наших опытов вычитали, чтобы получить часть энергии, идущую на собственно прокатку и часть, идущую на преодоление вредных сопротивлений.

В этих условиях, прокаткой опытных брусков нам удалось определить различные элементы с точностью, позволившей установить правила, которыми следует руководствоваться при прокатке как с точки зрения ее быстроты, так и с точки зрения механического коэффициента полезного действия.

О п ы т ы п р о к а

№ пропусков	УСЛОВИЯ ОПЫТА	Последовательные размеры				Увеличение размеров				Уменьшение размеров			
		Длина	Ширина	Толщина	Сечение	Длина		Ширина		Толщины		Сечения	
						При пропуске	С начала прокатки	При пропуске	С начала прокатки	При пропуске	С начала прокатки	При пропуске	С начала прокатки
	№ 1	м	мм	м	мм ²	м	м	мм	мм	мм	мм	мм ²	мм ²
0	Свинцовый брусок прокатывался между вальками диаметром 100 мм при одинаковых сжатиях, равных 3,7 мм.	1,000	20	20	400	—	—	—	—	—	—	—	—
1		1,170	21	16,3	342	0,170	0,170	1	1	3,7	3,7	58	58
2		1,430	22,2	12,6	280	0,260	0,430	1,2	2,2	3,7	7,4	62	120
3		1,890	23,7	8,9	212	0,460	0,890	1,5	3,7	3,7	11,1	68	188
4		3,070	25	5,2	130	1,180	2,070	1,3	5	3,7	14,8	82	270
0	Свинцовый брусок при прокатке под постоянной нагрузкой в 480 кг оказывал сопротивление трения, равное 70 кг.	1,000	20	20	400	—	—	—	—	—	—	—	—
1		1,125	20,6	17,2	355	0,125	0,125	0,6	0,6	2,8	2,8	45	45
2		1,290	21,1	14,7	310	0,165	0,290	0,5	1,1	2,5	5,3	45	90
3		1,482	21,6	12,5	270	0,192	0,482	0,5	1,6	2,2	7,5	40	130
4		1,690	22	10,7	237	0,208	0,690	0,4	2	1,8	9,3	33	163
5		1,970	22,5	9	203	0,280	0,709	0,5	2,5	1,7	11	34	197
6		2,420	22,9	7,4	166	0,450	1,420	0,4	2,9	1,6	12,6	37	234
7		2,860	23,4	5,9	140	0,440	1,860	0,5	3,4	1,5	14,1	26	260
8		3,650	23,8	4,6	110	0,790	2,650	0,4	3,8	1,3	15,4	30	290
9		4,880	24,1	3,4	82	1,230	3,800	0,3	4,1	1,2	16,6	28	318
0	Свинцовый брусок прокатывался между вальками диаметром 100 мм при сжатиях под постоянным давлением в 350 кг, вызывающим сопротивление трения, равное 50 кг.	1,000	20	20	400	—	—	—	—	—	—	—	—
1		1,070	20,4	18,5	379	0,070	0,070	0,4	0,4	1,5	1,5	21	21
2		1,120	20,8	17,1	356	0,050	0,120	0,4	0,8	1,4	2,9	23	44
3		1,200	21,1	15,8	334	0,080	0,200	0,3	1,1	1,3	4,2	22	66
4		1,290	21,3	14,5	310	0,090	0,290	0,2	1,3	1,3	5,5	24	90
5		1,382	21,8	13,2	288	0,092	0,382	0,5	1,8	1,3	6,8	22	112
6		1,520	22	12	264	0,138	0,520	0,2	2	1,2	8,0	24	136
7		1,66	22,3	10,8	242	0,140	0,660	0,3	2,3	1,2	9,2	22	158
8		1,85	22,6	9,6	217	0,190	0,850	0,3	2,6	1,2	10,4	25	183
9		2,07	22,9	8,4	193	0,220	1,070	0,3	2,9	1,2	11,6	24	207
10		2,35	23,2	7,3	170	0,280	1,350	0,3	3,2	1,1	12,7	23	230
11		2,70	23,4	6,3	148	0,350	1,700	0,2	3,4	1	13,7	22	252
12		3,130	23,6	5,4	128	0,430	2,130	0,2	3,6	0,9	14,6	20	272
13		3,700	23,7	4,5	108	0,570	2,700	0,2	3,8	0,9	15,5	20	292

Удлинение от давления	Эффективный путь движущего усилия E	Действующее усилие F	Полезное усилие прокатки F_u	Отношение $\frac{F_u}{F}$	Работа усилия F		Работа усилия F_u		Отношение $\frac{W_u}{W}$	Сопротивление прокатки кг./мм ² сечения после пропуска		ПРИМЕЧАНИЕ
					При пропуске EF	С начала прокатки	При пропуске EF_u	С начала прокатки		$R = \frac{F}{S - S'}$	$R = \frac{F_u}{S - S'}$	
мм	мм	кг	кг		кг/мм	кг/мм	кг/мм	кг/мм				
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Измерить с достаточной точностью затрату энергии на преодоление сопротивлений трения оказалось невозможно. Боковые поверхности бруска выдувались при каждом пропуске
0,060	1,110	250	1	—	278	278	—	—	—	4,3	—	
0,080	1,350	270	—	—	373	651	—	—	—	4,4	—	
0,090	1,800	295	—	—	540	1 191	—	—	—	4,4	—	
0,150	2,920	330	—	—	965	2 156	—	—	—	4	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Удлинение, происходящее от давления, в среднем равнялось 4,5 процентам. Боковые поверхности бруска во время этого опыта оставались почти плоскими. (Мы не принимали во внимание относительное сопротивление трения, вызываемое давлениями или движущими усилиями, которые, слагаясь с собственно давлениями, вызвали равнодействующие, которые впрочем мало отличаются от рассматриваемых сил).
0,045	1,080	180	110	0,61	194	194	119	119	0,615	4,0	2,45	
0,050	1,240	175	105	0,60	216	410	130	249	0,610	3,9	2,3	
0,062	1,420	170	100	0,59	242	652	142	391	0,600	4,2	2,5	
0,070	1,620	164	94	0,57	265	917	153	544	0,595	4,9	2,8	
0,080	1,890	158	88	0,56	300	1 217	167	171	0,588	4,6	2,6	
0,100	2,320	152	82	0,54	352	1 569	190	901	0,575	4,2	2,2	
0,120	2,740	144	74	0,52	395	1 964	203	1 104	0,565	5,5	2,8	
0,150	3,500	138	68	0,49	478	2 442	238	1 342	0,550	4,6	2,2	
0,190	4,690	130	60	0,46	610	3 052	281	1 623	0,530	4,6	2,1	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	В этом опыте боковые поверхности принимали вогнутую форму.
0,040	1,030	120	70	0,58	124	124	72	72	0,580	5,7	3,3	
0,044	1,076	120	70	0,58	128	242	75	147	0,610	5,2	3,0	
0,048	1,152	120	70	0,58	138	380	81	228	0,600	5,4	3,2	
0,050	1,240	118	68	0,57	147	527	84	312	0,595	4,9	2,8	
0,056	1,326	118	68	0,57	157	684	91	403	0,590	5,3	3,1	
0,060	1,460	116	66	0,56	170	854	96	499	0,585	4,8	2,7	
0,065	1,595	115	65	0,56	183	1 037	99	598	0,570	5,2	2,8	
0,080	1,776	112	62	0,55	198	1 235	106	704	0,575	4,5	2,4	
0,085	1,995	110	60	0,54	219	1 454	116	820	0,570	4,6	2,4	
0,090	2,280	108	58	0,53	247	1 701	128	948	0,550	4,7	2,4	
0,100	2,600	105	55	0,52	274	1 975	135	1 083	0,550	4,8	2,4	
0,120	3,010	102	52	0,51	306	2 281	150	1 233	0,540	5,1	2,5	
0,150	3,550	100	50	0,50	355	2 036	177	1 418	0,535	5,0	2,5	

О п ы т ы п р о к а

№ № пропусков	УСЛОВИЯ ОПЫТА	Последовательные размеры				Увеличение размеров				Уменьшение размеров			
		Длина	Ширина	Толщина	Сечение	Длины		Ширины		Толщины		Сечения	
						При пропуске	С начала прокатки	При пропуске	С начала прокатки	При пропуске	С начала прокатки	При пропуске	С начала прокатки
	№ 4	м	мм	мм	мм ²	м	мм	мм	мм	мм	мм	мм ²	мм ²
0	Свинцовый брусок прокатывался между вальками в 167 мм диаметром при одинаковых сжатиях в 3,7 мм.	1,000	20	20	400	—	—	—	—	—	—	—	—
1		1,140	21,5	16,3	350	0,140	0,140	1,5	1,5	3,7	3,7	50	50
2		1,380	23	12,6	290	0,240	0,380	1,5	3	3,7	7,4	60,4	110
3		1,830	24,5	8,9	219	0,450	0,830	1,5	4,5	3,7	11,1	71	181
4		2,900	26,5	5,2	138	1,070	1,900	2	6,5	3,7	14,8	81	262
5		9,200	29	1,5	43,5	6,300	8,200	3	9,5	3,7	18,5	94,5	356,5
	№ 5												
0	Свинцовый брусок прокатывался между вальками диаметром 167 мм при сжатиях под давлением в 930 кг, вызывающим сопротивление трения, равное 72 кг, отнесенное к радиусу в $\frac{167}{2} = 83,5$ мм.	1,000	20	20	400	—	—	—	—	—	—	—	—
1		1,120	21	17	357	0,120	0,120	1	1	3	3	43	43
2		1,270	21,7	14,5	314	0,150	0,170	0,7	1,7	2,5	5,5	43	86
3		1,450	22,3	12,3	276	0,180	0,450	0,6	2,3	2,2	7,7	38	124
4		1,680	23,1	10,3	239	0,230	0,680	0,8	3,1	2	9,7	37	161
5		2,060	23,7	8,2	191	0,380	1,060	0,6	3,7	2,1	11,8	45	206
6		2,480	24,3	6,6	161	0,420	1,480	0,6	4,3	1,6	13,4	33	239
7		3,130	25	5,2	128	0,650	2,130	0,7	5	1,4	14,8	33	272
8		4,000	25,5	3,9	100	0,870	3,000	0,5	5,5	1,3	16,1	28	300
9		5,480	26	2,8	73	0,480	4,480	0,5	6	1,1	17,2	27	327
10		7,900	26,5	1,9	50,5	2,420	6,900	0,5	6,5	0,9	18,1	22,5	349,5
11		12,410	26,9	1,2	32,2	4,520	11,420	0,4	6,9	0,7	18,8	18,3	537,8
12		16,300	27,2	0,9	24,5	3,880	15,300	0,3	7,2	0,3	19,1	7,7	545,5
13		24,200	27,4	0,6	16,5	7,900	23,200	0,2	7,4	0,3	19,4	8	553,5
14		36,400	27,6	0,4	11	12,200	35,400	0,2	7,6	0,2	19,6	5,5	559
15		48,000	27,7	0,3	8,3	11,600	47,000	0,1	7,7	0,1	19,7	2,7	561,7
16		72,000	27,8	0,2	5,56	24,000	71,000	0,1	7,8	0,1	19,8	2,74	564,44
17		143,000	27,9	0,1	2,8	71,000	141,000	0,1	7,9	0,1	19,9	2,76	567,20
18		286,000	28	0,05	1,4	133,000	285,000	0,1	8	0,05	19,95	1,4	568,60
	№ 6												
0	Свинцовый брусок прокатывался между двумя вальками в 167 мм диаметром при сжатиях в 350 кг, вызы-	1,000	20	20	400	—	—	—	—	—	—	—	—
1		1,032	20,2	19,1	386	0,032	0,032	0,2	0,2	0,9	0,9	14	14
2		1,080	20,3	18,3	372	0,058	0,090	0,1	0,3	0,8	1,7	14	28

т к и с в и н ц а.

Таблица 30 (Продолжение).

Удлинение от давления	Эффективный путь движения усилия F	Движущее усилие F	Полезное усилие прокатки F_u	Отношение $\frac{F_u}{F}$	Работа усилия F		Работа усилия F_u		Отношение $\frac{W_u}{W}$	Сопротивление прокатки кг/мм^2 сечения после пропуска		ПРИМЕЧАНИЕ
					При пропуске EF	С начала прокатки	При пропуске EF_u	С начала прокатки		$R = \frac{F}{S - S'}$	$R_u = \frac{F_u}{S - S'}$	
м	м	кг	кг		кг/м	кг/м	кг/м	кг/м				
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Удлинение, происходящее от давления, равнялось в среднем 50 процент. Усилия относились к радиусу, равному $\frac{167}{2}$ вследствие равенства моментов вращения $M_p = Fr = F'r_{ca}$, $F_u = F' \frac{r}{r'}$, $r = r' > \frac{50}{8,35} = 0,6r'$, где F' касательное усилие, измеренное на валах диаметром 100 мм.
0,570	1,03	265	—	—	287	287	—	—	—	5,3	—	
0,069	1,311	305	—	—	400	687	—	—	—	4,8	—	
0,092	1,738	340	—	—	590	1 277	—	—	—	4,7	—	
0,145	2,755	390	—	—	1 080	2 357	—	—	—	4,8	—	
0,160	8,740	450	—	—	3 940	6 297	—	—	—	4,7	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Этот опыт, аналогичный с опытом при валах в 100 мм диаметр, протекал в неблагоприятных условиях. При давлении в 930 кг вали диаметром 100 мм постепенно раздавливали свинец, а потому невозможно было получить равномерных скатий даже при одном пропуске.
0,040	1,080	230	158	0,68	249	249	171	171	0,680	5,3	3,7	
0,050	1,120	225	153	0,68	252	501	171	342	0,680	5,2	3,6	
0,056	1,304	215	143	0,67	281	782	186	528	0,670	5,6	3,7	
0,075	1,605	210	138	0,66	337	1 119	222	750	0,670	5,7	3,7	
0,090	1,970	200	128	0,64	393	1 512	253	1 003	0,680	4,4	2,9	
0,110	2,370	190	118	0,62	450	1 962	280	1 283	0,650	5,7	3,5	
0,140	2,990	180	180	0,60	538	2 500	323	1 606	0,64	5,4	3,3	
0,180	3,820	172	100	0,58	658	3 158	382	1 988	0,63	6,1	3,6	
0,240	5,240	160	88	0,55	840	3 998	454	2 442	0,61	5,9	3,3	
0,350	7,550	148	76	0,51	1 117	5 115	572	3 014	0,60	6,6	3,4	
0,560	11,860	124	52	0,42	1 478	6 593	620	3 631	0,55	6,8	2,9	
0,720	15,580	112	40	0,36	1 740	8 333	624	4 258	0,51	14,6	5,2	
1,100	23,100	104	32	0,31	2 400	10 733	740	4 998	0,47	13	4	
1,600	34,800	94	22	0,24	3 280	14 013	800	5 798	0,41	17,1	4	
2,150	45,850	88	16	0,18	4 050	18 063	734	6 532	0,36	32,5	5,9	
3,250	68,750	84	12	0,14	5 800	23 863	825	7 357	0,31	30,7	4,4	
6,400	136,800	82	10	0,12	11 300	35 163	1 368	8 725	0,25	29,8	3,6	
12,800	273,200	78	6	0,06	27 320	62 483	1 640	10 365	0,16	71	4,3	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Удлинение, происходящее от давления, равнялось в среднем 2 процентам.
0,020	1,012	60	30	0,50	60	60	30	30	0,50	4,3	2,1	
0,021	1,060	60	30	—	63	125	32	62	—	—	—	

О П Ы Т Ы П Р О К А

№ № пропусков	УСЛОВИЯ ОПЫТА	Последовательные размеры				Увеличение размеров				Уменьшение размеров			
						Длины		Ширины		Толщины		Сечения	
		Длина	Ширина	Толщина	Сечение	При пропуске	С начала прокатки	При пропуске	С начала прокатки	При пропуске	С начала прокатки	При пропуске	С начала прокатки
		мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм ²	мм ²
3	находящих сопротивление трения, равное 30 кг.	1,110	20,4	17,6	360	0,030	0,120	0,1	0,4	0,7	2,4	12	40
4		1,150	20,5	16,9	347	0,040	0,160	0,1	0,5	0,7	3,1	13	53
5		1,194	20,6	16,3	333	0,044	0,204	0,1	0,6	0,6	2,7	12	65
6		1,230	20,7	15,7	325	0,036	0,240	0,1	0,7	0,6	4,3	10	75
7		1,270	20,8	15,1	315	0,040	0,280	0,1	0,8	0,6	4,9	10	85
8		1,310	20,9	14,6	305	0,040	0,320	0,1	0,9	0,5	5,4	10	95
9		1,350	21	14,1	296	0,040	0,360	0,1	1	0,5	5,9	9	104
10		1,400	21,1	13,6	287	0,050	0,410	0,1	1,1	0,5	6,4	9	113
11		1,440	21,2	13,1	278	0,040	0,450	0,1	1,2	0,5	6,9	9	122
12		1,490	21,3	12,6	269	0,050	0,500	0,1	1,3	0,5	7,4	9	131
13		1,540	21,4	12,1	260	0,050	0,550	0,1	1,4	0,5	7,9	9	140
14		1,590	21,5	11,6	251	0,050	0,600	0,1	1,5	0,5	8,4	9	149
15		1,660	21,6	11,1	242	0,070	0,670	0,1	1,6	0,5	8,9	9	158
16		1,720	21,7	10,7	233	0,060	0,730	0,1	1,7	0,4	9,3	9	157
17		1,780	21,8	10,3	225	0,060	0,790	0,1	1,8	0,4	9,7	8	165
18		1,830	21,9	9,9	218	0,050	0,840	0,1	1,9	0,4	10,1	7	172
19		1,910	22	9,5	210	0,080	0,920	0,1	2	0,4	10,5	8	180
20		2,050	22,1	9,1	202	0,040	0,960	0,1	2,1	0,4	10,9	8	188
21		2,060	22,2	8,7	194	0,010	0,970	0,1	2,2	0,4	11,3	8	196
22		2,150	22,3	8,3	186	0,090	1,060	0,1	2,3	0,4	11,9	8	204
23		2,250	22,4	7,9	178	0,100	1,160	0,1	2,4	0,4	12,1	8	212
24		2,370	22,6	7,5	169	0,120	1,300	0,1	2,5	0,4	12,5	9	221
25		2,490	22,6	7,1	161	0,120	1,400	0,1	2,6	0,4	12,9	8	229
26		2,630	22,7	6,7	152	0,140	1,540	0,1	2,7	0,4	13,3	9	238
27		2,780	22,8	6,3	144	0,150	1,690	0,1	2,8	0,4	13,7	8	246
28		2,940	22,9	5,9	136	0,160	1,850	0,1	2,9	0,4	14,1	8	254
29		3,150	23	5,5	127	0,210	2,060	0,1	3	0,4	14,5	9	263
30		3,380	23,1	5,1	118	0,230	2,290	0,1	3,1	0,4	14,9	9	272
31		3,670	23,2	4,7	109	0,290	2,580	0,1	3,2	0,4	15,3	9	281
32		3,950	23,3	4,3	101	0,280	2,860	0,1	3,3	0,4	15,7	8	289
33		4,350	23,4	3,9	92	0,400	3,260	0,1	3,4	0,4	16,1	9	298
34		4,820	23,5	3,5	83	0,470	3,730	0,1	3,5	0,4	16,5	9	307
35		5,400	23,6	3,1	74	0,580	4,310	0,1	3,6	0,4	16,9	9	316
36		6,04	23,7	2,8	66	0,640	4,950	0,1	3,7	0,3	16,2	8	324
37		6,670	23,8	2,5	60	0,630	5,580	0,1	3,8	0,3	17,5	6	330
38		7,540	23,9	2,2	53	0,870	6,450	0,1	3,9	0,3	17,8	7	337
39		8,890	24	1,9	45	1,350	7,800	0,1	4	0,3	18,1	8	345

Удаление от давления	Эффективная путь движущего усилия E	Движущее усилие F	Полезное усилие прокатки F_H	Отношение $\frac{F_H}{F}$	Работа усилия F		Работа усилия F_H		Отношение $\frac{W_H}{W}$	Сопротивление прокатки R к.м.м. сечения после пропуска		ПРИМЕЧАНИЕ
					При пропуске FH	С начала прокатки	При пропуске $F_H H$	С начала прокатки		$R \frac{F}{S-S'}$	$R \frac{F_H}{S-S'}$	
м	м	кг	кг		кг·м	кг·м	кг·м	кг·м				
0,022	1,088	60	30		65	188	32	94				
0,023	1,127	60	30		68	256	34	128				
0,024	1,170	59	29		69	325	34	162				
0,024	1,206	59	29		71	396	35	197				
0,025	1,245	59	29		73	469	36	233				
0,026	1,284	58	28	0,48	75	544	36	269	0,49	5,8	2,8	
0,027	1,323	58	28		77	621	37	306				
0,028	1,372	58	28		80	701	37	343				
0,029	1,411	58	28		82	783	40	383				
0,030	1,460	58	28		85	868	41	421				
0,031	1,509	58	28		88	956	42	466				
0,032	1,558	58	28		90	1 046	43	509				
0,033	1,627	58	28		95	1 141	45	554				
0,034	1,686	56	26	0,46	94	1 235	44	598	0,48	6,2	2,9	
0,035	1,745	56	26		98	1 333	45	643				
0,036	1,794	56	26		100	1 433	46	689				
0,038	1,872	56	26		105	1 538	49	738				
0,040	2,010	56	26		112	1 650	52	790				
0,041	2,019	56	26		114	1 761	53	843				
0,043	2,107	56	26		118	1 882	55	898				
0,045	2,205	56	26		124	2 006	58	956	0,46	7	3,2	
0,045	2,323	56	26	0,46	130	2 136	60	1 016				
0,050	2,440	56	26		137	2 273	63	1 079				
0,052	2,578	56	26		144	2 417	67	1 146	0,48	6,2	2,9	
0,055	2,725	56	26	0,46	152	2 569	71	1 217				
0,058	2,882	56	26		162	2 731	75	1 292				
0,063	3,087	56	26		174	2 905	80	1 372				
0,067	3,313	56	26		186	3 091	86	1 458				
0,073	3,597	56	26		200	3 291	93	1 551				
0,079	3,871	56	26		217	3 508	100	1 651				
0,087	4,263	56	26		240	3 748	111	1 762				
0,096	4,721	56	26		260	4 008	123	1 885				
0,108	5,292	56	26		296	4 304	138	2 023				
0,120	5,920	54	24		329	4 624	142	2 165				
0,133	6,537	52	22		340	4 964	144	2 309				
0,151	7,389	52	22		313	5 277	162	2 971				
0,180	8,700	52	22	0,42	455	5 732	192	3 163	0,55	6,5	2,7	

Опыты прокатки свинца.

В этих опытах диаметр валков равнялся 100 мм, а сечение опытного бруска 20×20 мм. Давление прилагалось не грузом определенного веса, а установкой подвижного вала при каждом пропуске, так чтобы последовательные сжатия равнялись 3,7 мм. В таблице 30 приводятся рассчитанные и наблюдаемые элементы этих опытов.

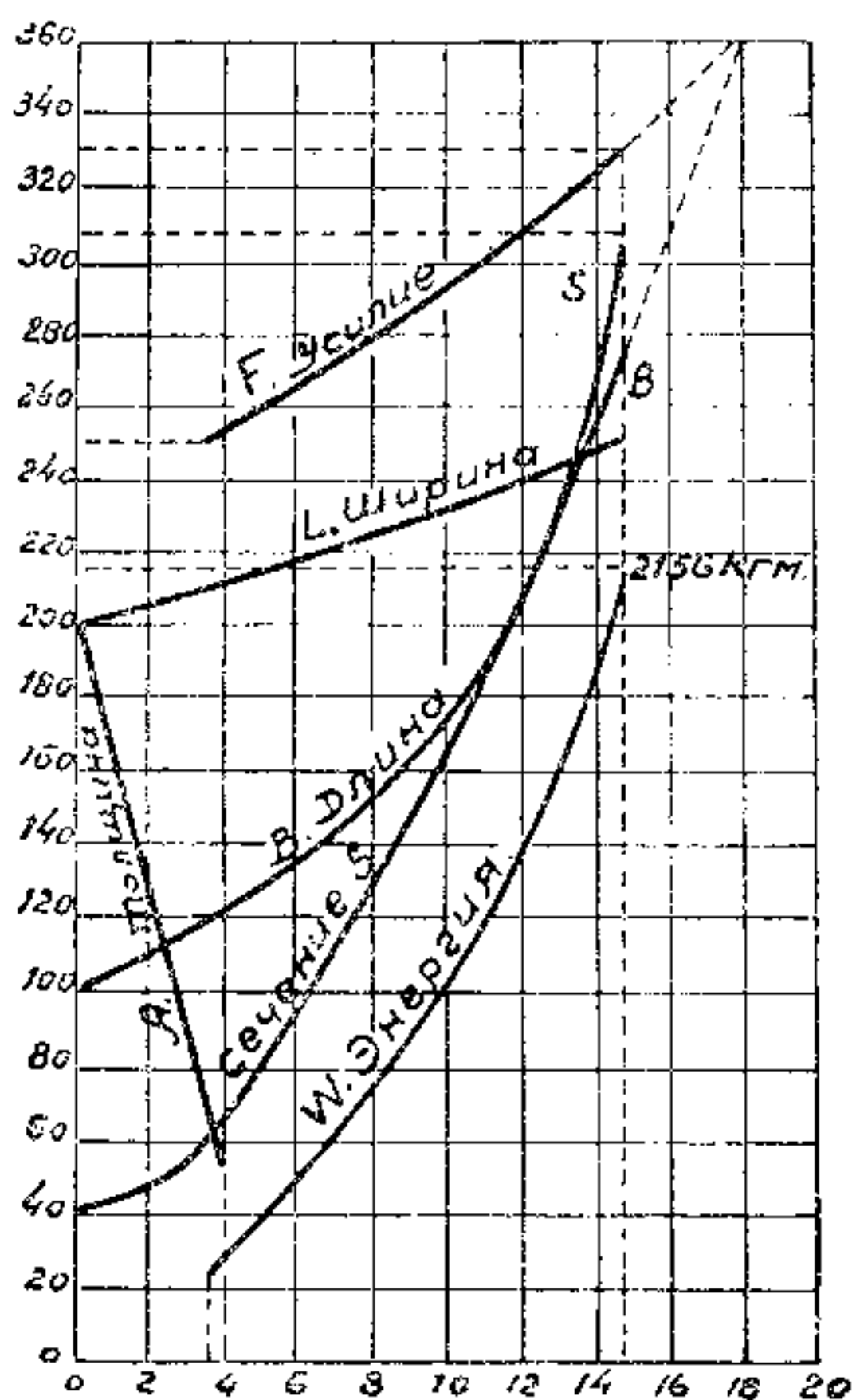


Рис. 667.

Изменение сечения изображено кривой S , стремящейся к значению, равному 400, при ординате, соответствующей сжатию в 20 мм. Последняя кривая — параболической формы.

В этом опыте удлинение, происходящее от давления, измерялось по меткам, нанесенным на валках, и равнялось от 4 до 5 процентов. Для определения полезной работы движущего усилия мы вычитали удлинение из фактической длины прокатного бруска. Изменения этой работы в зависимости от сжатия изображены кривой W .

Опыт № 1 — кривые (рис. 667) изображают изменения размеров бруска, усилий и энергий.

Прямая линия A , соответствующая сжатиям, нанесена, принимая за абсциссы равные расстояния, соответствующие порядковому номеру пропуска. Абсциссы других кривых соответствуют сжатиям. Кривая F тянущих усилий показывает, что последние возрастают вместе со сжатием. Максимальное усилие соответствует сжатию, равному всей толщине опытного бруска. Последнее зависит, в свою очередь, от величины сжатия при последнем его пропуске. Исследуя уравнения прокатки, выведенные выше, можно допустить, что отношения усилий F равняются отношениям средних давлений p , развиваемых валками.

Кривая L соответствует изменениям ширины бруска. Эта кривая в пределах опыта близка к прямой линии. Однако, дальше мы увидим, что окончательная ширина бруска стремится к пределу (28 мм) по

Эта кривая изображает одновременно и полезную работу прокатки и работу трения валков. Асимптотой для нее является ордината, соответствующая абсциссе 20. Действительно, при сжатии, приближающемся к полной толщине бруска, длина последнего стремится к бесконечности и, кроме того, так как работа трений не равна нулю, ордината получает бесконечное значение.

Среднее сопротивление R прокатки, отнесенное на квадратный миллиметр сечения после пропуска, близко к $4,4 \text{ кг/мм}^2$. Это значит, что при ковком металле сопротивление прокатки в пределах опыта — величина постоянная.

Мы не смогли выяснить с достаточной степенью точности вредного сопротивления прокатного стана при каждом пропуске (тары). Чтобы учесть этот весьма важный элемент, в последующих опытах мы пользовались постепенным давлением, дающим уменьшающиеся сжатия. Вследствие того, что поворот валков производился металлической проволокой, мы не смогли получить сжатия более 3 мм.

Опыт № 2. — В этом опыте мы повысили давление до 480 кг, вызывающее тару, равную 70 кг. Результаты опытов приведены в таблице и изображены диаграммой на рис. 668, позволяющей проследить за всеми их изменениями.

Изменения толщины изделия изображены кривой E_2 , ординаты которой при каждом пропуске уменьшаются. Для сжатия опытного бруска до толщины 3,4 мм потребовалось девять пропусков, при чем сжатия при начальных пропусках равнялись 2,8, а в конце опыта 1,2 мм. Уширение бруска (кривая L_2) в пределах опыта почти пропорционально сжатиям. Боковые поверхности бруска оставались почти плоскими.

Можно видеть, что уширение бруска при равных сжатиях в этом опыте меньше, нежели в предыдущем. Так, например, при сжатии равном 5,2 мм в опыте первом получилось уширение, равное 5 мм, тогда как во втором опыте это уширение равнялось всего 3,5 мм.

Следовательно, большие сжатия способствуют уширению, так как эта деформация зависит главным образом от величины давления.

Последовательные значения длины бруска дают кривую, аналогичную кривой опыта № 1. Точно так же уменьшения сечения дают кривую, мало отличающуюся от кривой S опыта № 1, а потому этих кривых мы не нанесли, чтобы не затемнять диаграммы.

Кривая энергии W_2 , относящаяся к полной работе, располагается немного выше той же кривой опыта № 1, показывая тем, что выгоднее

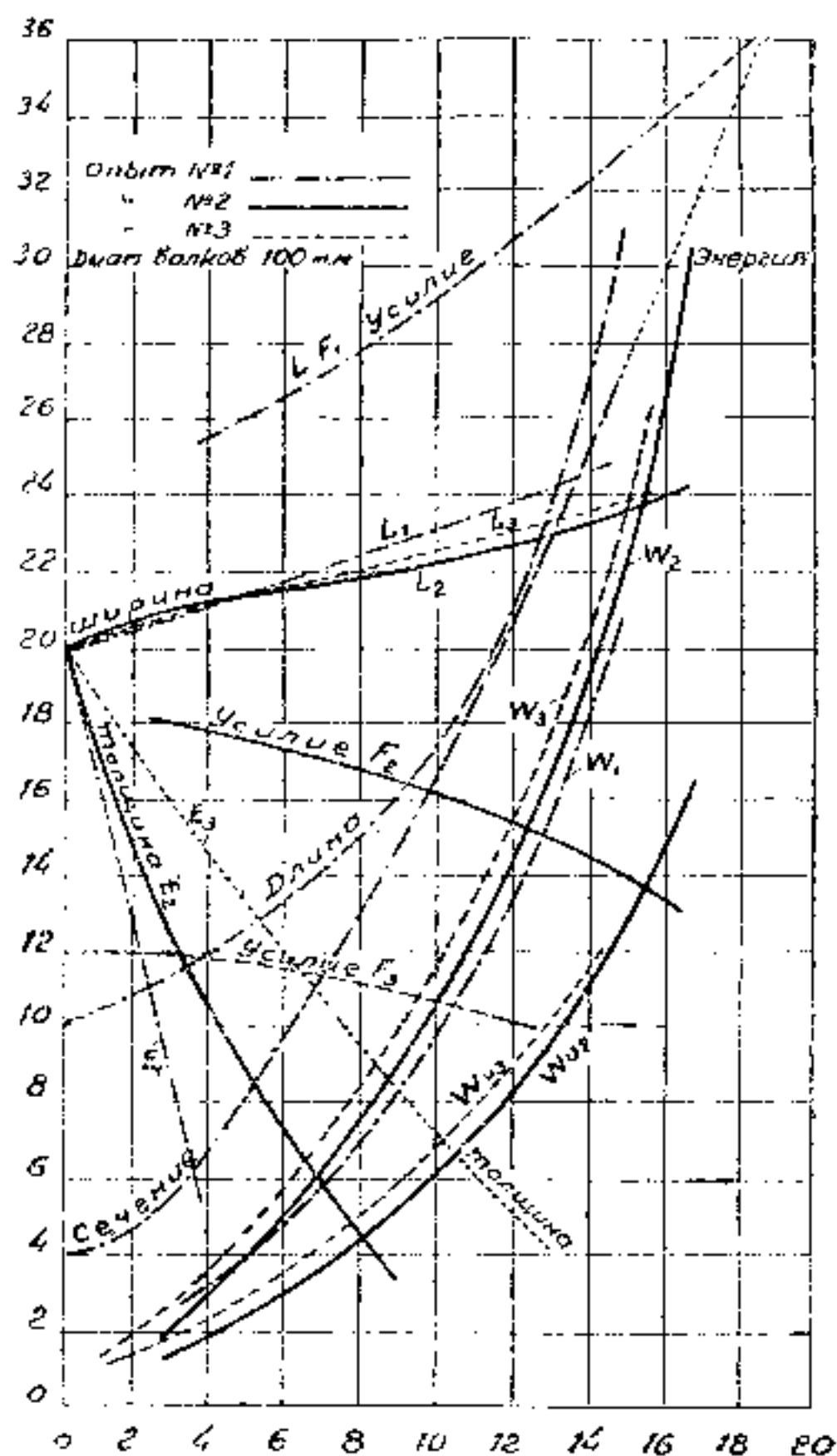


Рис. 668.

вести прокатку при больших сжатиях, нежели при малых. Заметим, однако, что в пределах опытов разница эта невелика, и что практически при обыкновенной толщине изделия и ковком металле, если не считаться с продолжительностью работы, можно пользоваться, безразлично, большими и умеренными давлениями.

Это правило аналогично с правиломковки под молотом мягких металлов.

Несомненно, что при металлах, обладающих значительным сопротивлением и некоторой упругостью, необходимо вести прокатку при больших сжатиях. Вычитая из движущего усилия F тару (70 кг), получаем значения, очень близкие к значениям усилия $F_{\text{п}}$, т.-е. полезного усилия собственно прокатки. Значение этого усилия отличается от значения трения, определяемого силой протяжки, но этой разницей здесь можно пренебречь. Ясно, что усилие F_2 уменьшается и что при сжатии, равном толщине изделия, оно стремится к величине тары.

Отношение $\frac{F_{\text{п}}}{F}$ изменяется от 0,61 до 0,46. Отсюда следует, что полезная работа прокатки больше в ее начале, нежели в конце, и что в пределах настоящего опыта работа трения шеек валков в среднем равнялась работе собственно прокатки, как то можно видеть по отношению $\frac{W_{\text{п}}}{W} = 0,53$, относящемуся к суммированным значениям для всех пропусков.

Сопротивление прокатке на квадратный миллиметр сечения бруска после пропуска, отнесенное к полному и полезному усилиям, в среднем равняется соответственно 4,5 и 2,5 кг/мм². Первое значение мало отличается от значения 4,4 кг/мм², найденного при первом опыте. Таким образом, можно допустить, что сопротивление прокатке свинца достигает в среднем 4,5 кг на квадратный миллиметр уменьшения сечения, включая и энергию, затрачиваемую на трение инструментов, и что сопротивление собственно прокатки составляет около 2,5 кг/мм².

Среднее давление p на валки рассчитывается по формуле:

$$p = \frac{P}{b \sqrt{r(a + a')}}.$$

В начале операции:

$$p = \frac{480}{20,6 \sqrt{50 \times 2,8}} = 2 \text{ кг.}$$

а в конце операции:

$$p = \frac{480}{24,1 \sqrt{50 \times 1,2}} = 2,5 \text{ кг.}$$

При сжатии между двумя параллельными плоскостями свинцового опытного цилиндра диаметром и высотой в 20 мм при одинаковых с предыдущими сжатиях, сопротивление равняется соответственно 1,4 и 11 кг. Таким образом, сопротивление возрастает при прокатке медленнее, нежели при прессовании.

Опыт № 3. — В опыте № 3 встречаем ту же аналогию, как и в опытах №№ 1 и 2. Так как давления слабее, то боковые поверхности принимают вогнутую форму и затрудняют точное измерение средней ширины.

Понижение усилия F идет медленнее, нежели в опыте № 2.

Кривые энергий W и $W_{\text{п}}$ располагаются ниже, чем в опытах №№ 1 и 2. Диаграмма (рис. 668) дает возможность судить об относительном ходе кривых во всех трех опытах.

Коэффициент сопротивления на квадратный миллиметр сечения после пропуска повышается вместе с трением и близок к 5 кг/мм^2 ; не принимая же во внимание трений, значение его понижается до $2,8 \text{ кг/мм}^2$.

Среднее давление p сохраняет свое значение около 2 кг на квадратный миллиметр.

Сравнительные опыты над прокаткой валками различных диаметров.

Для этих опытов мы воспользовались валками диаметром 100 мм , на которые надевали кольца диаметром 167 мм и прокатывали опытные бруски сечением $20 \times 20 \text{ мм}$, сжимая их каждый раз на $3,7 \text{ мм}$. Вслед затем мы прокатывали такие же бруски при давлениях от 930 до 350 кг , чтобы можно было сравнивать полученные результаты с результатами опытов №№ 1 и 3.

Опыт № 4. — Этот опыт производился при одинаковых сжатиях образца, равных $3,7 \text{ мм}$. На диаграмме (рис. 669) изображены главные результаты опыта, позволяющие сравнивать их с результатами опытов № 1 и № 4.

Можно видеть, что ширина увеличивается больше при большем диаметре валков, нежели при меньшем. Более сильные давления больше увеличивают ширину бруска, при чем большие диаметры валков оказывают менее благоприятное влияние на вытяжку.

Таким образом, при сжатии до толщины в $5,2 \text{ мм}$ длина образца в 1 м при прокатке между валками меньшего диаметра достигает $3,090 \text{ м}$, а при прокатке между валками большего диаметра достигает только $2,900 \text{ м}$.

Отношения энергий при различных сжатиях остаются приблизительно постоянными и равными $1,1$.

Отношения энергий при отдельных пропусках равняются:

$$\frac{287}{278} = \frac{400}{375} = \frac{1080}{965} = 1,1.$$

Таким образом, затрата энергии валками большого диаметра мало отличается от затраты ее валками малого диаметра при условии работы с одинаковыми сжатиями. Следовательно, при том же числе пропусков скорость прокатки остается той же.

Опыты №№ 5 и 6. — На рис. 670 изображены графически результаты опытов №№ 5 и 6. При пятом опыте мы доводили толщину

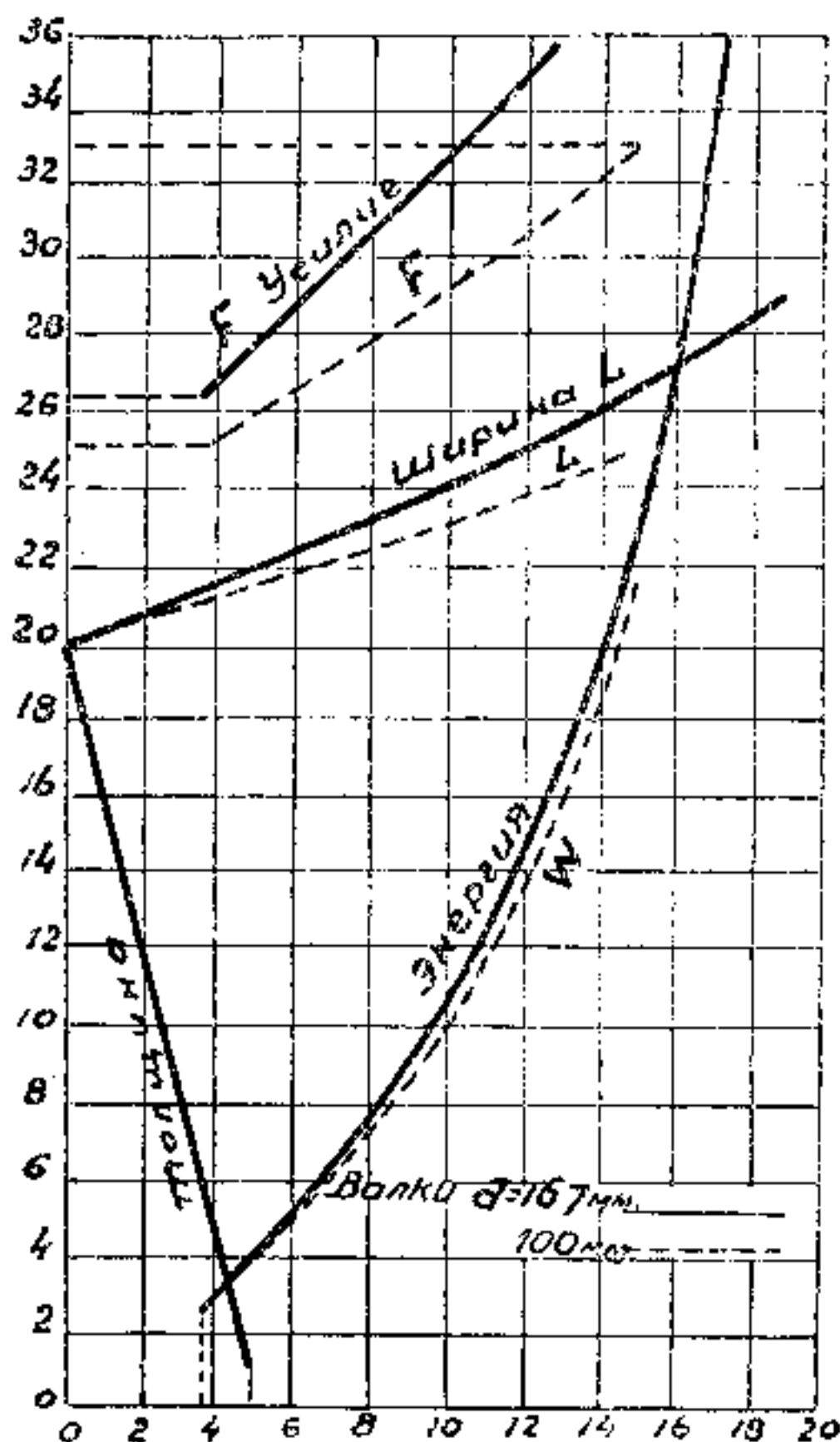


Рис. 669.

бруска до 0,1 мм; хотя точные измерения становились очень затруднительными. Поэтому для сравнений можно было воспользоваться только сжатиями, примерно, до толщины в 1 мм. Число пропусков для получения одинакового окончательного сжатия теми же валками обратно пропорционально давлению, при чем число пропусков увеличивается довольно быстро вместе с увеличением диаметра.

Таким образом, для сжатия в 15,5 мм в зависимости от диаметров валков и давлений требуется следующее количество пропусков.

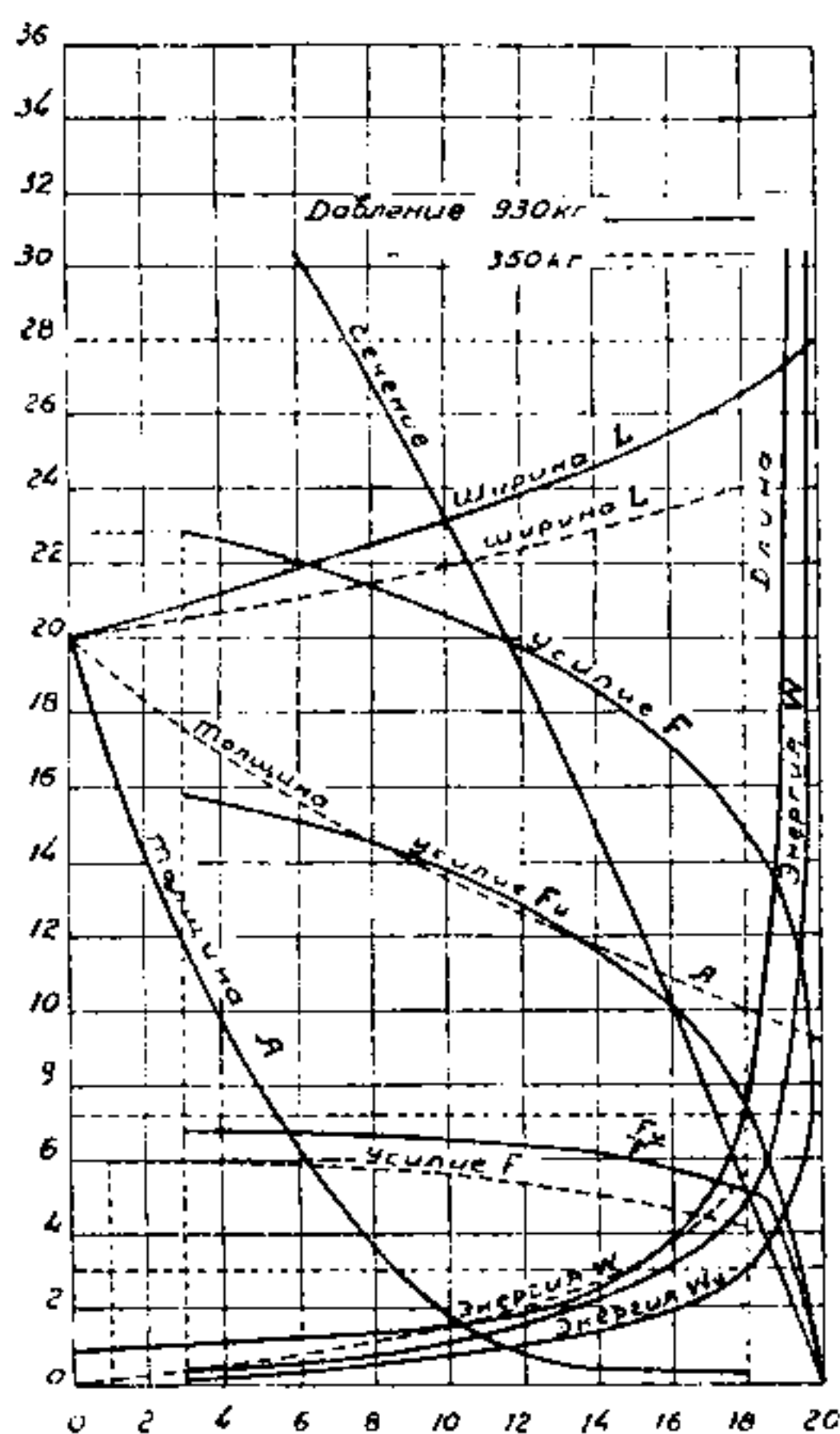


Рис. 670.

Диаметр валков 100 мм

Давления	480 кг	350 кг
Число пропусков . . .	8	13

Диаметр валков 167 мм

Давления	930 кг	350 кг
Число пропусков . . .	8	31

Опыты №№ 5 и 6 точно также показывают, что ширина бруска увеличивается больше при сильных давлениях, нежели при слабых, так как кривые L располагаются значительно выше.

При давлении в 930 кг сжатие достигает 18,1 мм, а уширение 6,5 мм, тогда как при давлении в 350 кг оно достигает всего лишь 4 мм.

Уширения уменьшаются вместе с толщиной, как то можно видеть в таблице.

При давлении в 930 кг уширение бруска при первом пропуске равняется 1 мм, а при пятнадцатом пропуске, когда толщина бруска достигает 0,3 мм, оно не превышает 0,1 мм.

Кривая S диаграммы (рис. 664) соответствует изменениям сечения при давлениях в 930 кг. Эта плавная кривая пересекает ось абсцисс в точке 20.

Мы также нанесли кривые F усилий и кривые отношений $\frac{F_u}{F}$, для давлений в 930 кг. Все эти кривые очень похожи друга на друга. Все они приближаются к ординатам, значение которых равняется тарам в 72 кг и 30 кг при общей абсциссе 20.

Кривые A сжатий плавные, в особенности кривая, соответствующая давлению в 930 кг, дающим сжатия, легче поддающиеся измерению и притом с относительно большей точностью, нежели сжатия, получающиеся при давлении в 350 кг, в особенности же когда толщина бруска становится меньше 2 мм.

Отсюда вытекает, что в этих опытах, когда толщина бруска становится менее 2 мм, различные значения могут более или менее отклоняться от действительных, хотя бы они и являлись средними из двух или трех наблюдений.

Наиболее интересные результаты, полученные в предыдущих опытах, это затраты энергии, изображенные кривыми W для полной работы и кривыми W_n для полезной работы.

В периодах сжатия до 18 мм, т.-е. до окончательной толщины бруска равной 2 мм, можно видеть сравнительное преимущество сильных давлений.

Таким образом мы получаем результаты, приведенные в следующей таблице.

Полная и полезная энергии		Давления	
		930 кг	350 кг
Полная затрата энергии	W	5 115 кг.м	5 732 кг.м
Полезная энергия прокатки	W_n	3 014 кг.м	3 163 кг.м
Отношение	$\frac{W_n}{W}$	0,60	0,55

Следует обратить особенное внимание на изменение отношения $\frac{W_n}{W}$, которое в начале опыта № 5 достигает значения, равного 0,68, а в конце опыта — 0,16. Это указывает на низкий коэффициент полезного действия прокатки свинцовых изделий толщиной менее 0,5 мм.

Среднее значение отношений $\frac{W_n}{W}$ около 0,50, т.-е. работа трения на четырех шейках валков равна полезной энергии, необходимой для прокатки мягкого металла.

Мы видели, что отношение $\frac{W_n}{W}$ при валках диаметром 100 мм изменяется приблизительно в тех же пределах, но значение его несколько выше предыдущих. Таким образом, коэффициент полезного действия валков небольшого диаметра мало разнится от коэффициента полезного действия валков большого диаметра.

Однако, существует довольно значительная разница между затратами энергии при одном и том же сжатии, исследование которой весьма поучительно, в особенности в пределах наших опытов с валками диаметром 100 мм в пределах сжатия до 16 мм. Диаграмма (рис. 671) показывает, что кривые энергии в начале прокатки дают малые расхождения.

Можно видеть, что самая невыгодная прокатка это прокатка валками большого диаметра при небольших давлениях.

Если сравнить между собой ординаты двух кривых, соответствующих давлениям в 350 кг при диаметрах валков в 167 и 100 мм, то можно видеть, что при полном сжатии в 15,5 мм первые требуют затраты 3 500 кг.м тогда как вторые 2 636 кг.м, что дает отношение $\frac{3500}{2636} = 1,3$.

При сжатии на 10,5 мм это отношение равняется $\frac{1538}{1235} = 1,25$, а при сжатии на 5,5 мм оно равняется $\frac{560}{527} = 1,06$.

Таким образом, это отношение возрастает вместе с суммой сжатий. Поэтому-то для сильной вытяжки следует пользоваться валками

небольшого диаметра и такими давлениями, какие только они могут безопасно выдерживать.

Этого правила держатся опытные практики.

Кривая ясно показывает, что преимущество находится на стороне валков диаметром 100 мм, производящих сжатия, равные 3,7 мм. При том же сжатии на 5,2 мм эти отношения принимают следующие значения:

Валки диаметром	167 мм	2 357 кг.м
„ „	100 мм	2 156 кг.м

$$\text{Отношение } \frac{2\,357}{2\,156} = 1,2.$$

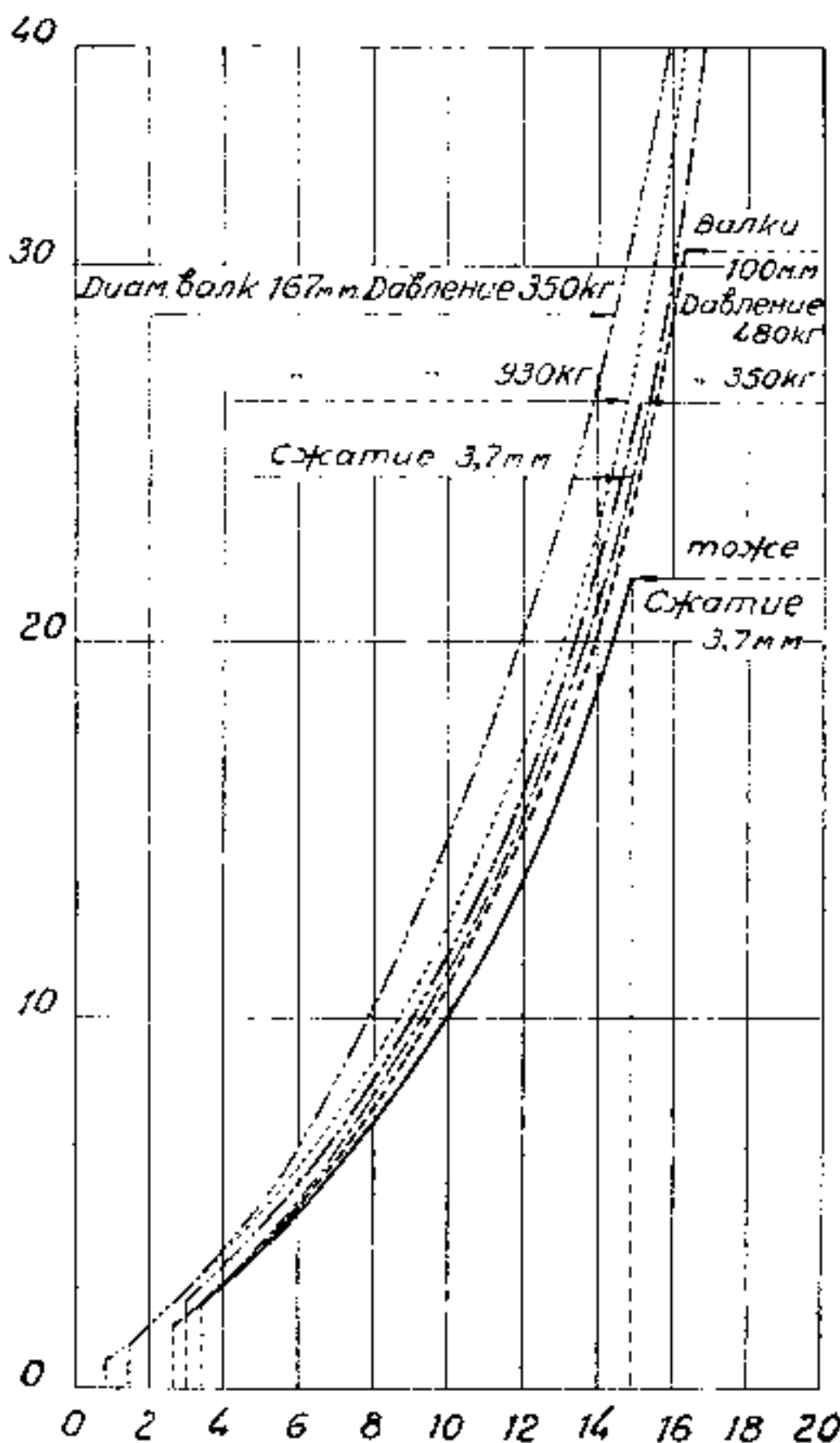


Рис. 671.

Последние столбцы таблиц дают сопротивление прокатки на квадратный миллиметр сечения после пропуска. Можно видеть, что при валках диаметром в 100 мм при полных сжатиях бруска до толщины в 4—5 мм это сопротивление колеблется в среднем от 4,5 до 5 кг/мм². Эти значения иногда возрастают до 6 и 7 кг/мм² при валках диаметром 167 мм. Среднее давление p на валки получает следующие значения: в начале при сжатии в 3 мм и при нагрузке в 930 кг оно равняется:

$$p = \frac{930}{21 \sqrt{83,5 \times 3}} = 2,8 \text{ кг},$$

при сжатии в 2 мм при четвертом пропуске:

$$p = \frac{930}{23,7 \sqrt{83,5 \times 2}} = 3,1 \text{ кг},$$

при десятом пропуске:

$$p = \frac{930}{26,5 \sqrt{83,5 \times 0,9}} = 4 \text{ кг},$$

при пятнадцатом пропуске:

$$p = \frac{930}{27,7 \sqrt{83,5 \times 0,1}} = 1,61 \text{ кг}.$$

Эти значения выше полученных ранее с валками диаметром 100 мм. Они показывают, что средние давления возрастают вместе с диаметрами.

Точно также видно, что при толщине изделия менее чем 1 мм полное сопротивление, включая трение, достигает от 20 до 40 кг/мм² и больше, тогда как сопротивление самой прокатки может изменяться между 2 и 5 кг/мм².

Отсюда можно видеть, что работа трения представляет постоянную величину равную таре. Так как уменьшения сечения при небольших давлениях незначительны, то отсюда вытекает, что значение отношения $\frac{F}{S - S'}$ — большое, и что оно быстро возрастает, как только

толщина изделия становится меньше 1 мм. Чтобы не затемнять диаграмм, мы не нанесли на них ни кривых изменения этого коэффициента, ни кривых других элементов прокатки, представляющих тем не менее некоторый интерес.

II. Поперечная прокатка.

Поперечное давление, скомбинированное с прямолинейным или вращательным движением инструментов в перпендикулярном направлении или под некоторым углом к этому усилию и вызывающее катание изделия, характеризует процесс поперечной прокатки.

Этот процесс позволяет придавать изделиям форму тел вращения и другие формы с гладкими или фасонными поверхностями, в зависимости от формы инструментов. Инструменты представляют собой или плиты с возвратно-поступательным прямолинейным движением, или же валки, вращающиеся непрерывно в одном направлении или попеременно то в одном, то в другом направлениях.

Если изделие цилиндрическое, то обрабатываемую массу металла помещают на горизонтальную плиту T (рис. 672) и сжимают плитой T' точно также с плоской поверхностью, движущейся возвратно-прямолинейным движением. Верхняя плита имеет вертикальное перемещение, вызывающее уменьшение диаметра изделия и, следовательно, его поперечное удлинение. Иногда верхняя плита T' имеет наклонную поверхность (рис. 673), предопределяющую уменьшение диаметра и вызывающую наклонные реакции; последние облегчают прокатку заготовки, которая увлекается действием трения.

Плите T можно также придать прямолинейное движение, отчего операция занимает меньше времени (рис. 674). Так как металл прокатывается поперек, то в нем развиваются внутренние продольные напряжения, вызывающие удлинение изделия по мере уменьшения его поперечных сечений. Если последние неодинаковы по всей длине изделия, то сжатие должно производиться постепенно в поперечном и продольном направлениях. В противном случае могут произойти сильные внутренние скручивания или сдвиги металла, или возникнуть трения, противодействующие истечению металла в продольном направлении, а также могут получиться трещины, расходящиеся от центра по радиусам. Сильные сжатия возможны только при очень текучем металле, центральные части которого в состоянии выдерживать многократные поперечные удлинения и укорочения, превышающие предел упругости.

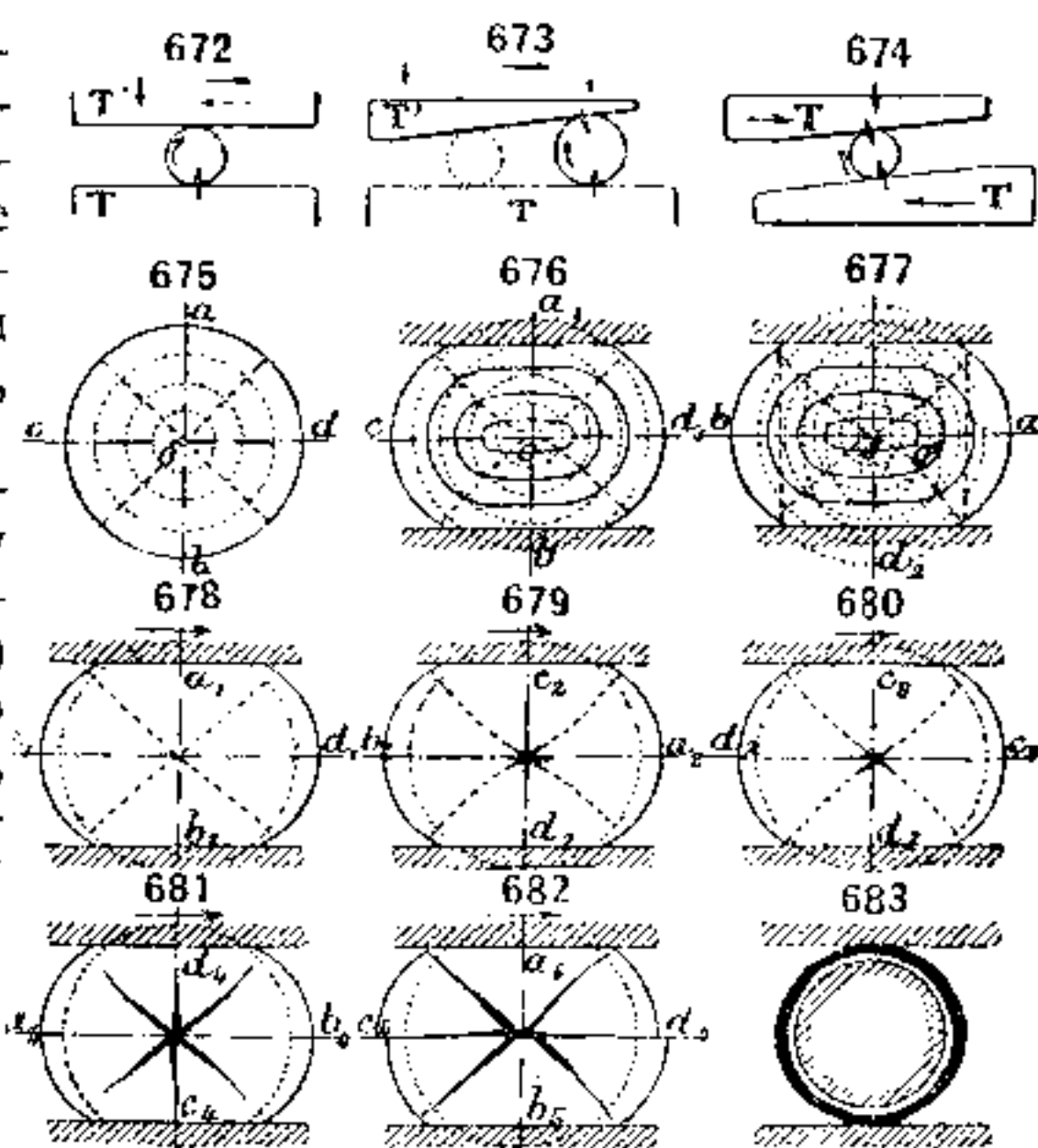


Рис. 672 — 683.

Образование радиальных трещин в прокатываемых изделиях можно легко объяснить, наблюдая деформации цилиндра из малотекучего металла, подвергающегося давлению достаточно сильным, чтобы вызвать овальное сечение, как, например, изображенное на рис. 676. На этом рисунке изображена проекция торца, очерченного концентрическими окружностями и радиусами (рис. 675). Под действием давления эти линии принимают вид, изображенный на рис. 676.

По изменению радиуса кривизны деформированных окружностей можно легко отличить удлиненные элементарные слои от укороченных или сжатых элементарных слоев, а также элементарные слои, сохранившие свою первоначальную длину как в направлении радиуса, так и по окружности. При повороте образца прокаткой на четверть оборота происходят лишь незначительные изменения его формы, при чем диаметры ab и cd проходят через значения $a_1, b_1 < d$ и $c_1, d_1 > d$ и принимают значения $a_2, b_2 > d > a_1, b_1$ и $c_2, d_2 < d < c_1, d_1$ (рис. 678 и 679).

Сжатые первоначально элементарные слои при этом в большинстве случаев вытягиваются и наоборот. Радиус, как, например, oa , прошел почти через все свои значения, заключающиеся между oa и oa_1 , а затем через значения между oa_1 и oa_2 . Радиус кривизны элемента окружности прошел через все свои значения, заключающиеся между oa, ∞ , и oa_1 . Так как относительные укорачивания и удлинения значительно больше в центре, нежели на окружности, то отсюда вытекает, что трещины зарождаются в центре и распространяются к окружности. В рассматриваемом случае удлинение центрального элементарного слоя достигает от 100 до 200 процентов, тогда как удлинение такого же слоя на окружности не превышает 50 процентов. Кроме того, элементарные слои движущиеся к центру и такие же слои, движущиеся к окружности, в каждый данный момент перпендикулярны друг другу. Так как получающиеся отклонения сравнительно значительны, то разрыв чаще всего происходит в виде призмы скольжения (рис. 681 и 682).

Если принять во внимание, что все эти явления, более сложные, нежели мы здесь указываем, повторяются несколько раз при каждом повороте изделия, то, конечно, металл, обладающий малой текучестью, не в состоянии выдерживать значительной поперечной прокатки. (Известно, что ни один металл не в состоянии выдерживать многочисленных чередующихся растяжений и сжатий, превышающих предел его упругости).

Обычно первые призмы сдвигов соответствуют тем разрывам, которые стремятся образоваться сначала (рис. 678).

Первый диаметр ab , который уменьшается больше других, спустя четверть оборота становится равным a_2, b_2 (рис. 679). Относительно большое удлинение, которому подвергся этот диаметр, вызывает разрыв в центре и в прилегающих элементарных слоях. Эта первая трещина сжимается спустя четверть оборота (рис. 680) при чем получают новые трещины в вершине призмы сдвигов. На протяжении третьей четверти оборота происходит увеличение трех диаметральных трещин, а на протяжении последней четверти мы допускаем, что (рис. 682) призмы претерпели дальнейший сдвиг одна относительно другой.

Ясно, что в зависимости от характера металла и величины общей деформации, чтобы вызвать разрыв, необходимо некоторое количество оборотов. Этот разрыв представляет ряд разновидностей, которых мы не можем здесь проанализировать, несмотря на весь интерес этого вопроса.

Необходимо однако помнить, что сильная поперечная прокатка возможна только при исключительно однородном и очень текучем металле, сохраняющем во время работы, насколько то возможно, свою изотропию (однородность строения).

Металлы волокнистого строения не в состоянии выдерживать поперечных сдвигов, растяжений и сжатий, характеризующих поперечную прокатку. Не следует упускать из вида, что даже мягкая, очень текучая сталь, дающая при вишнево-красном калении удлинение, при разрыве равное 90%, не в состоянии выдерживать чередующихся значительных и многократных растяжений и сжатий, вследствие чего при поперечной прокатке она требует осторожного обращения.

Надо добавить, что поперечная прокатка изделия из металла, обладающего значительной текучестью, в некоторых случаях вызывает в центре ее пустоту вдоль оси, происходящую при первом разрыве, как то показано на рис. 679. Длина изделия в месте разрыва увеличивается. Если инструменты действуют на изделие на небольшой части его длины, то продольные сдвиги происходят легко. При значительной же длине зоны воздействия инструментов, трение сильнее противодействует удлинению и происходят относительно большие боковые сдвиги металла, вследствие чего изделие скорее дает трещину в своей центральной части.

Поперечная прокатка вызывает также образование циркулярных трещин (рис. 683), когда кольцевые элементарные слои обладают недостаточной однородностью. Разделение слоев происходит при прохождении горизонтального диаметра $b_2 a_2$, т.-е. когда радиусы кривизны проходят через свои минимальные значения. Последовательные изгибы элементарных слоев, происходящие непрерывно, тотчас же расширяют трещину, которая проявляется снаружи небольшим вздутием.

Вследствие этого нагнанная силой на внутреннюю оправку гильза или муфта после прокатки ее между двумя плитами (рис. 683) быстро освобождается. Иногда даже гильза или муфта сдвигается в продольном направлении и стремится совершенно сойти с оправки под действием возникающих наклонных усилий.

Поперечной прокаткой между двумя плитами пользуются для снятия труб с оправок, на которых они вытягивались, в том случае, если труба охватывает такую оправку по всей ее длине. Таковую оправку можно рассматривать, как инструмент, а именно как валок. Труба раскатывается таким образом по двум диаметрально-противоположным линиям между двумя плитами и центральным валком. Эта циркулярная прокатка вызывает удлинение трубы.

Можно видеть, что поперечная прокатка вызывает сравнительно большие сдвиги металла в поперечном направлении, т.-е. в направлении движения. Эти сдвиги происходят от непосредственного давления и от трения, развивающегося между инструментами и изделием.

Так как значительные сдвиги металла происходят в направлении, перпендикулярном направлению вытяжки, то коэффициент полезного действия поперечной прокатки должен быть меньше коэффициента полезного действия продольной прокатки.

Механическую работу в простейшем случае, а именно в случае прокатки цилиндра диаметром d до диаметра d' при удлинении от l до l' , можно рассчитать, имея в виду, что:

- 1) Затрата энергии равняется произведению из переменного давления P на длину пути равную $d - d'$.
- 2) Сопротивление P катания плит и изделия, вызывающее затрату энергии, зависит от длины пройденного пути.

3) К этой затрате энергии необходимо прибавить затрату на трение катания плиты в ее направляющих.

Затрату энергии можно отнести к единице объема металла, смещенного в продольном направлении, и рассчитать коэффициенты сопротивления и энергию прокатки. Для этого требуются опытные данные. (Таких опытов, несомненно очень интересных, мы, к сожалению, не производили).

Процесс поперечной прокатки был предложен в 1860 году Эмилем Мартэном ¹⁾ специально для изготовления осей и других изделий простейшей формы, не требующих сложных плит. Прокатка производилась в один или несколько пропусков.

Машина Мартэна (рис. 684) состояла из двух плит, движущихся возвратно-поступательным движением и приводимых в действие шестернями и зубчатыми рейками. Давление прилагалось к верхней плите посредством винта. Плиты двигались в направляющих и для уменьшения сопротивления движению катились по роликам. Они имели наклонные рабочие поверхности для скорейшего уменьшения диаметра изделия при небольшом вертикальном перемещении.

Понятно также, что плиты с наклонными в поперечном направлении поверхностями, соответствующими развернутому конусу, воспроизведут эту форму при прокатке изделия под углом. Устройство плит для прокатки тел вращения различного профиля представляет трудную задачу, но при простых профилях изделий работа производится быстро и точно и вполне оправдывает себя.

Тем не менее такими машинами пользовались мало, пока американец Симон (1885) ²⁾ не сконструировал машины, изображенной на рис. 685 — 686, давшей замечательные результаты.

Эта машина состоит из двух плит, составляющих пару. Поверхности этих плит имеют возвышения, расположенные диагонально относительно направления движения и, кроме того, скошены относительно плоскости каждой плиты. Эти смещающие металл поверхности покрыты насечкой, форма которой весьма различна в зависимости от формы прокатываемого изделия.

Нижняя плита *В* укрепляется в станине машины. Вторая плита монтируется на салазках *Е*, ее можно перемещать в вертикальной плоскости. На эту плиту действует винт *Д* для подъема и опускания плиты и изменения давления. Прямолинейно-возвратное движение плит достигается зубчатыми рейками, шестернями и приводными ремнями, которые автоматически переводятся в конце каждого хода, длина которого устанавливается в зависимости от длины плит.

Для прокатки изделия салазки *Е* поднимают настолько, чтобы раскаленную до-бела болванку можно было поместить между плитами.

¹⁾ Эмил Мартэн запатентовал в 1861 году машину для прокатки осей.

²⁾ Французский патент 9 ноября 1885 г.

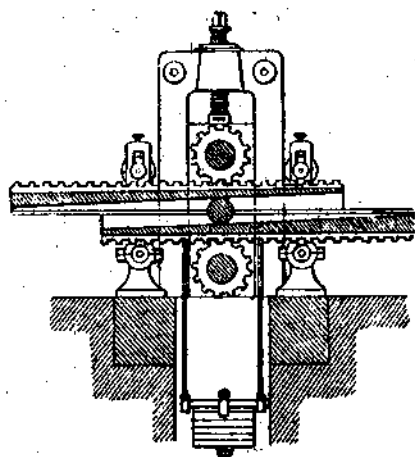


Рис. 684.

Затем салазки *E* опускают и прилагают давление. При движении плит изделие прокатывается.

Чтобы облегчить движение плит и уменьшить до некоторой степени трение, их ставят на ролики *RR'*, надетые на валы шестерен, сцепляющихся с зубчатыми рейками, как то видно в разрезе (рис. 686).

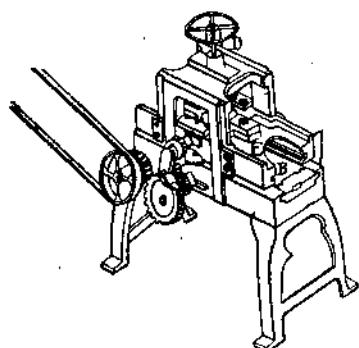


Рис. 685.

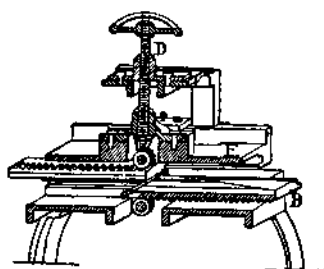
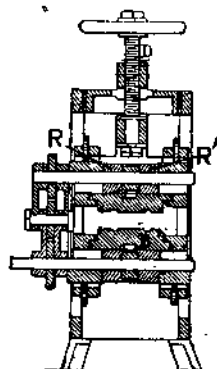


Рис. 686.



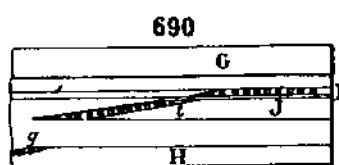
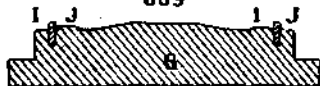
Плиты *G*, изображенные на рис. 687—692, служат для прокатки вагонных осей. Горизонтальные плоскости *g* этих плит параллельны друг другу. Фасонные поверхности выступают над горизонтальными; они вытягивают, расширяют заготовку и придают ей форму изделия, которое удерживается на поверхностях *g* таким образом, что не происходит никаких ненормальных перемещений.



688



689



691



692



Рис. 687—692.

Воздействие рабочих поверхностей начинается на конце 2 плиты и заканчивается на конце 3.

Как только заготовка положена между плитами, клиновидные рабочие поверхности начинают уменьшать сечение средней части оси. Края возвышающейся клиновидной части плиты, срезаны под углом. Эти наклонные плоскости являются обжимными плоскостями. Горизонтальная плоскость 6—8 является калибрующей поверхностью. Обжимные плоскости сжимают сечение, вытягивают болванку и придают ей требующуюся форму. Избыток сдвинутого металла собирается по сторонам обжимных поверхностей.

Иногда скошенные поверхности покрывают насечкой или бороздками t , не допускающими скольжения заготовки. Следы рубцов на заготовке исчезают при последующем воздействии на нее плоской части плит.

По обе стороны возвышающейся поверхности H вблизи точки 8, где начинается чистовая часть операции, находятся две новых обжимных плоскости J , образующие шейки осей.

Как только удлинение оси достигает определенного предела, концы ее обрезаются двумя ножами I , с наклонными лезвиями.

На рис. 693—696 изображены плиты для прокатки сферических изделий, а на рис. 697 — для прокатки конических изделий.

Когда заготовка подвергается воздействию обжимных поверхностей, части ее, захваченные между плитами, обладают различными скоростями на окружности и потому возможно скручивание изделий. Этого недостатка избегают, вырезая некоторую часть калибрующих поверхностей по небольшим наклонным поверхностям, с таким расчетом, чтобы заготовка касалась плиты только в тех местах, которые должны подвергаться воздействию инструментов в определенный момент операции. Тем не менее невозможно устранить скольжения совершенно, если изделие обладает несколькими различными диаметрами. Эти скольжения способствуют образованию

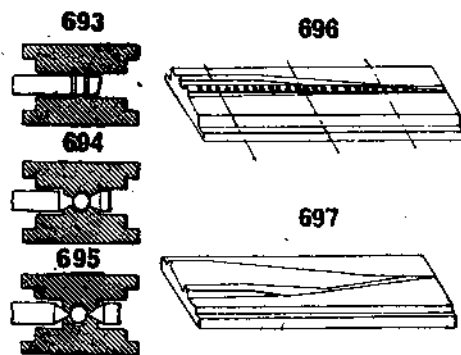


Рис. 693—697.

гладких поверхностей изделий, но тем не менее их необходимо избегать насколько это возможно.

Изделиям точно так же можно придавать многогранную рубчатую, волнистую и всякую другую, не круглую в поперечном сечении форму ¹⁾. (Рис. 698 и последующие).

Рабочие калибровочные поверхности плиты в этих случаях имеют соответствующий рельеф, а обжимные поверхности направлены диагонально относительно линии движения плиты и наклонены к плоскости последней. Поверх или между этими поверхностями плита имеет выступающие части или соответствующие им углубления, которые сцепляются с выступами или углублениями прокатываемого изделия.

Если, например, изделие представляет собой коническую шестерню (рис. 707), то калибрующая поверхность (рис. 711) представляет собой род зубчатой рейки, сцепляющейся с зубцами, образующимися на заготовке из круглого железа.

Отношение между рабочими поверхностями, сдвигающими металл, и поверхностями сжимающими его таково, что заготовка обрабатывается сперва на одной части своей длины, после чего прокатывается до достижения требуемого поперечного сечения на небольшой части своей длины. Затем по мере дальнейшей прокатки избыток металла вытягивается или высаживается по продольной оси заготовки, удлиняя тем уже доведенную до окончательной формы часть, до тех пор пока изделие не будет совершенно закончено.

На рис. 704—706 изображена заготовка в различных стадиях прокатки.

¹⁾ Патент 6 июля 1889 г. выдан Симону в Массачусетсе. За эту машину, давшую прекрасные результаты, Симону присуждена премия имени Франклина.

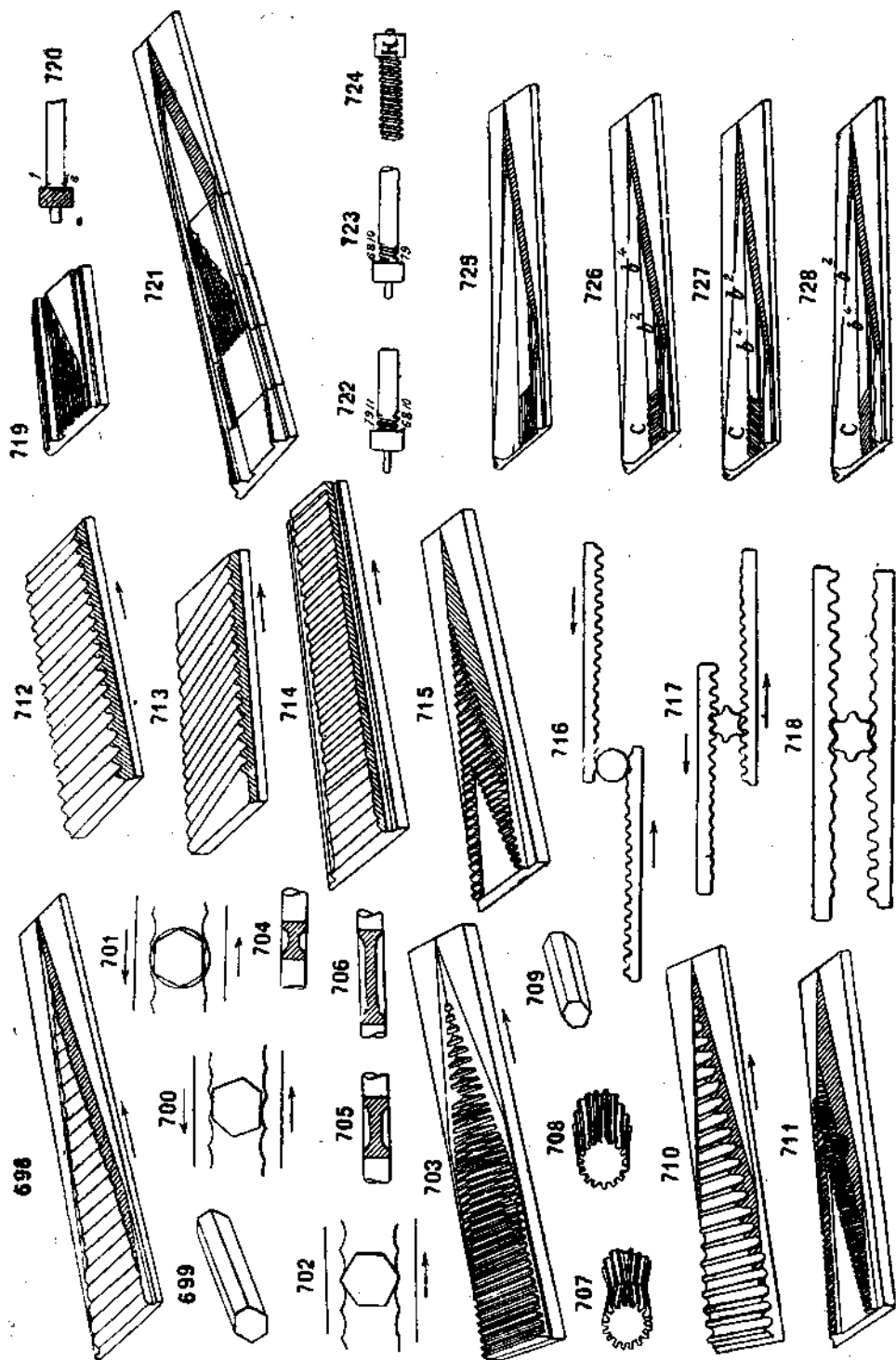


Рис. 698—728.

Плита, изображенная на рис. 715, служит для прокатки геликоидальных шестерен (рис. 708).

Плита (рис. 710) применяется для прокатки аналогичных рубчатых изделий.

На рис. 716 изображено положение плит в начале операции.

На рис. 718 изображена средняя фаза прокатки, а на рис. 717 — окончательная фаза операции. Применяющиеся при этом плиты изображены на рис. 712.

На рис. 713 изображена плита с ребрами, расположенными под углом.

На рис. 714 изображена плита для прокатки многогранных изделий, как, например, изделия, изображенного на рис. 709. Рисунки 700—702 изображают различные фазы прокатки такого рода изделий.

Процесс поперечной прокатки позволяет также изготавливать винты, для чего ребра плит располагают таким образом, чтобы каждое из них поочередно вступало в контакт с металлом заготовки, образуя части резьбы. При каждом полуобороте прокатываемого изделия, имеющегося на плите ребро образует одну нитку на полуокружности заготовки. Нитки, получающиеся при последовательных пропусках, соединяются вместе и образуют резьбу по всей длине винта.

На рис. 721 изображена плита для прокатки винтов, а на рис. 719 — часть плиты, на которой накатывается резьба.

На рис. 720, 722 и 723 изображена заготовка, прошедшая три последовательных стадии обработки, а именно спустя полтора оборота.

На рис. 724 изображен законченный винт с насеченной головкой *K* и небольшим выступом для гаечного ключа.

Разогретой заготовке сперва придается форма, изображенная на рис. 720, в первой части плит, после чего образуется нитка между точкой 6 и точкой 7. После этого образуется нитка, начинающаяся в точке 8 (рис. 723).

При дальнейшем формировании других частей изделия резьба винта не подвергается каким-либо изменениям между прокатными плитами. Резьба только катится по плитам и направляет изделие. Качество законченной резьбы зависит от рационального расположения углублений плит, которые должны постепенно вытеснять металл.

На рисунках 727 и 730 изображены плиты для прокатки изделий с насеченными поверхностями.

Плиты, изображенные на рис. 725—730, служат для изготовления снарядов с конической или оживальной головкой. Рабочие поверхности этих плит имеют образующие части *b*⁴, проделывающие углубление или дорожку для ведущего пояска у основания снаряда, дно этой дорожки затем гофрируется. Гофрирование происходит в конце операции и независимо от действия образующей части плиты.

На рис. 734 изображена плита, служащая для насечки шестигранных изделий.

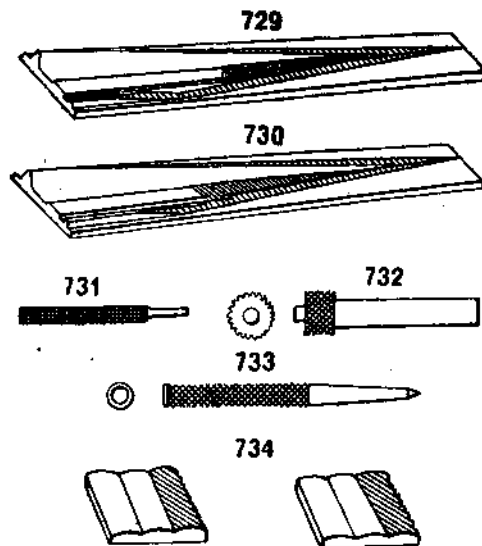


Рис. 729—734.

На рис. 732 изображена заготовка стержня или болта, головка которого насечена плитой с пересекающимися под углом насечками.

На рис. 731 изображен пуансон с насечкой на рукоятке.

На рис. 733 изображен зубообрабатывающий инструмент с такой же рукояткой. Применяемые в этом случае плиты имеют насечки, направленные под прямым углом друг к другу. Насечки одной плиты параллельны, а другой плиты перпендикулярны оси изделия. Оттяжка конца этого изделия производится последующей операцией.

Насечки на одной из плит параллельны направлению движения инструментов; насечки же другой плиты перпендикулярны этому направлению. Эти две серии насечек образуют на изделии углубления, направленные под прямым углом друг к другу.

Ребра, служащие для изготовления гофрированных изделий, могут быть также всякой другой формы и образовывать с направлением движения плиты любой угол.

Ребра одной плиты могут быть меньшей высоты, нежели ребра другой плиты, а также могут иметь различную форму. Таким образом, на изделиях можно накатывать различные фигуры, зависящие от их назначения.

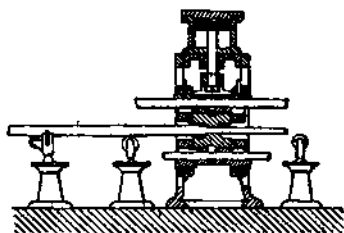


Рис. 735.

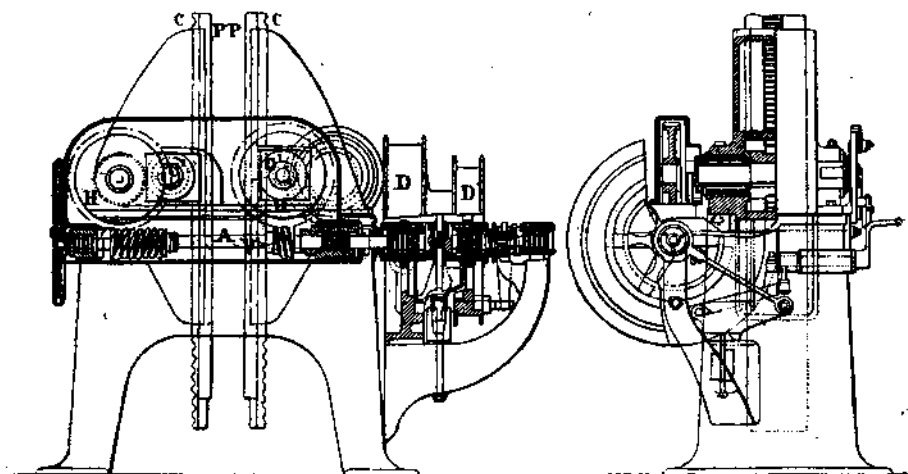


Рис. 736—737.

Плиты во всех случаях прокатки необходимо направлять очень точно, чтобы ребра одной плиты не могли повредить насечки, произведенной ребрами другой плиты.

Для обработки крупных изделий, прокатные плиты должны развивать сильное давление, а потому машину снабжают гидравлическим прессом (рис. 735). Если изделие значительной длины, то его поддерживают на роликах, облегчающих его передвижение.

Для уменьшения затраты энергии, плиты *PP* иногда располагают вертикально (рис. 736—737), вследствие чего между ними не задерживается окалина и, кроме того, достигается лучшая уравновешенность обеих плит. Плиты приводятся в движение также зубчатыми рейками.

сцепляющимися с шестернями *C'*, валы, которых посредством промежуточных шестерен связаны с червячными шестернями *HH*. Последние приводятся во вращение червяками *VV*, установленными на общем приводном валу *A*, шейки которого вращаются в многорядных шариковых подшипниках.

Вал *A* вращается шкивами *DD'*, один с прямым, а другой с перекрещенным ремнем. Шкивы одеты на вал *A* вхолостую. Между ними помещается сцепная муфта, служащая для изменения направления вращения вала *A* и движения плит и позволяющая изменять по мере надобности длину их хода.

Прокатные плиты направляются очень точно, так как в противном случае получатся неудовлетворительные изделия,

Такая вертикальная машина экспонировалась на Всемирной выставке в Париже в 1889 году. Она давала замечательные результаты.

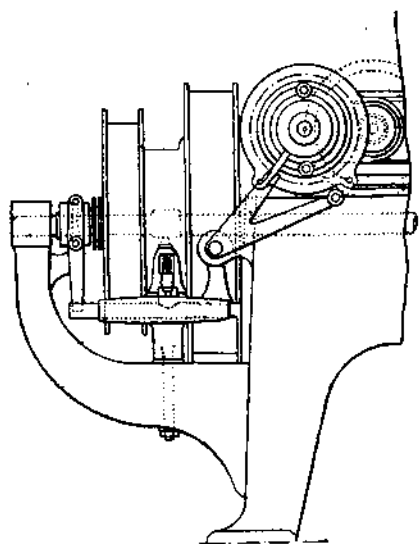


Рис. 738.

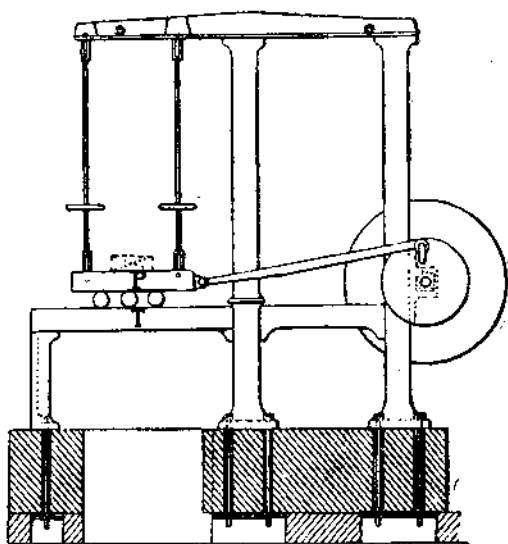


Рис. 739.

Достаточно указать, что она накатывала по пяти болтов в минуту и притом настолько точных, что гайка, пригодная для первых болтов, пригодна и для последних болтов такой серии, как, например, в 5 000 или 10 000 штук, без изменения установки плит.

Процесс поперечной прокатки между плитами весьма пригоден для таких работ, как выпрямление круглого железа, выходящего из прокатного стана, и для выпрямления труб.

Прокатная машина для правки круглого железа или труб (рис. 739) состоит из неподвижного горизонтального стола *T* и подвижной плиты *P* с возвратно-поступательным движением, приводимой в движение кривошипным механизмом.

Между плитами помещают несколько изделий, которые выпрямляются и выглаживаются прокаткой.

Давление, развиваемое плитой *P*, которое иногда усиливают дополнительными грузами, должно быть меньше давления, способного вызвать сдавливание сечения, но тем не менее оно должно быть достаточно для изгибания изделий при выпрямлении.

Прокатной машиной пользуются также для выравнивания шаров. В этом случае плите *P*, независимо от продольного возвратно-поступательного движения, придают прерывистое поперечное или непрерывное вращательное движение, образующее шаровую поверхность.

Плиты могут быть цилиндрической формы с одним или несколькими спиральными ручьями. Они устанавливаются на вертикальных валах (рис. 740). Эти ручьи придают поковке соответствующую форму при вращении обоих дисков в противоположные стороны или только одного диска в соответствующую сторону.

В одном из дисков устроено одно или несколько отверстий, просверливаемых в центре или близ него, через которые вводят заготовки или вынимают готовые изделия.

Отверстие для ввода заготовок устраивается в средней части диска против начала ручья. Если подача заготовок производится сбоку, то в конце спирального ручья устраивают плоскую поверхность *C* (рис. 741).

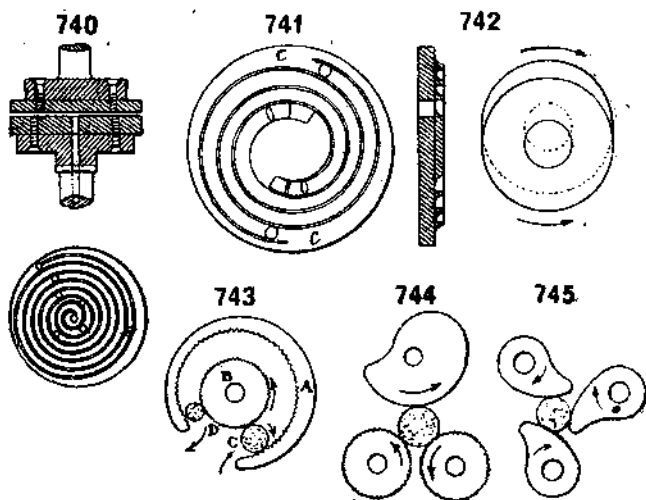


Рис. 740 — 745.

Диски делают концентричными или эксцентричными. В первом случае они могут вращаться в обратном направлении с разными скоростями или же один из них может вращаться, когда другой остается неподвижным. Диски лучше располагать эксцентрично (рис. 742). В этом случае они вращаются в обратных направлениях с равными или разными скоростями, вызывая таким образом скольжения, необходимые для полировки металла.

Для постепенности изменения формы изделия, ручьи делают постепенно изменяющегося сечения.

Такое расположение плит применяется при изготовлении снарядов небольшого калибра. В третьем томе настоящего труда мы приведем описание прокатной машины, сконструированной Фейрберном (1890 г.).

Поперечная прокатка валками. Вариантом поперечной прокатки является прокатка двумя эксцентричными валками, одним внутренним и другим наружным (рис. 743). Валок *A* неподвижен, а валок *B* вращается вокруг горизонтальной или вертикальной оси. Заготовку вводят через большее из отверстий *C*, а изделие выходит через меньшее отверстие *D*. По пути изделие прокатывается между рубчатых поверхностями обоих валков. Этого рода валки применялись преимущественно для прокатки пудлингового железа.

Изделия можно прокатывать между двумя горизонтальными валками, вращающимися в разные стороны (рис. 744), и кулачковым валком, производящим давление.

Применяется точно так же устройство, изображенное на рис. 745. В этом случае прокатка производится между тремя кулачковыми

валками, постепенно уменьшающими поперечные размеры изделий.

Для прокатки полых изделий, как, например, труб, машина помимо трех валков снабжается также оправкой, на которую надевают заготовку.

Процесс прокатки тремя валками или роликами применяется для придания цилиндрической формы трансмиссионным валам, которые прокатывают в холодную, а также и в других производствах, с которыми мы встретимся дальше.

Машина, изображенная на рис. 746—749 ¹⁾, состоит из двух эксцентричных валков CC' , расстояние между которыми соответствует

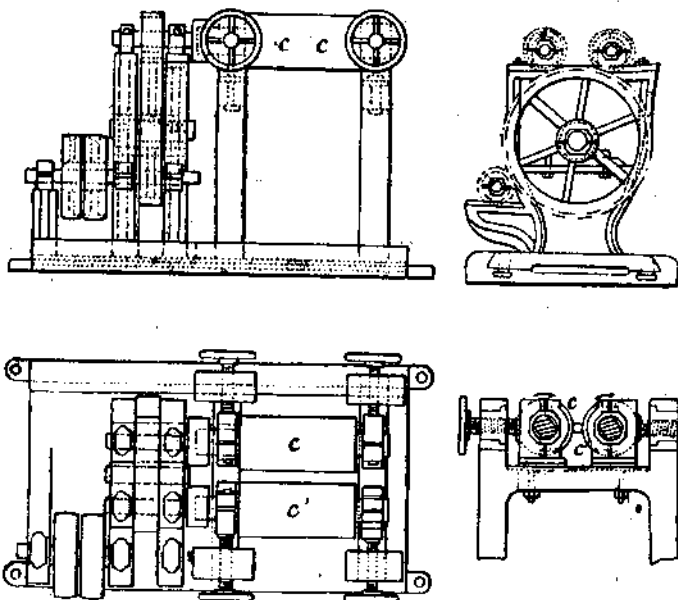


Рис. 746—749.

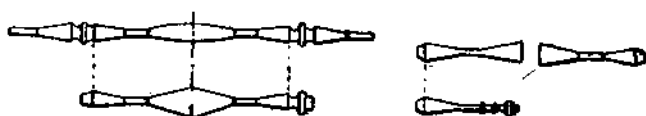


Рис. 750—751.

толщине обрабатываемого изделия. Эти валки покрыты выступами или углублениями, соответствующими форме углублений и выступов изготавливаемых изделий. Им также придают форму отдельных частей изготавливаемого изделия, чем облегчается производство.

Раскаленный кусок металла вводят между валками CC' сверху в момент их наибольшего расхождения, при чем эта заготовка должна возможно больше заполнять свободное пространство. При вращении вследствие эксцентриситета поверхности валков сближаются. Заготовка, которая лежит на соответствующей опоре, приобретает вращательное движение, во время которого подвергается воздействию профилей валков, вращающихся в том же направлении. В тот момент когда поверхности валков расходятся на наибольшее расстояние, изделие освобождается.

¹⁾ Патент Женомма и Лепо (Jeunehomme et Loraull) 18 октября 1889 года.

Этой машиной можно, например, изготовлять в один пропуск и из одного куска изделия, изображенной на рис. 750 формы, которые в окончательном виде должны иметь форму, изображенную на рис. 751. Симметричными формами, как в данном случае, предпочитают пользоваться для уравнивания продольных реакций.

Поперечная прокатка с электрическим нагревом.

Поперечная прокатка с электрическим нагревом была предложена Буртоном ¹⁾. Устройство машины изображено на рис. 752—761.

Провод $+A$ соединен с положительным полюсом динамомашины, а провод $-A$ с ее отрицательным полюсом или наоборот.

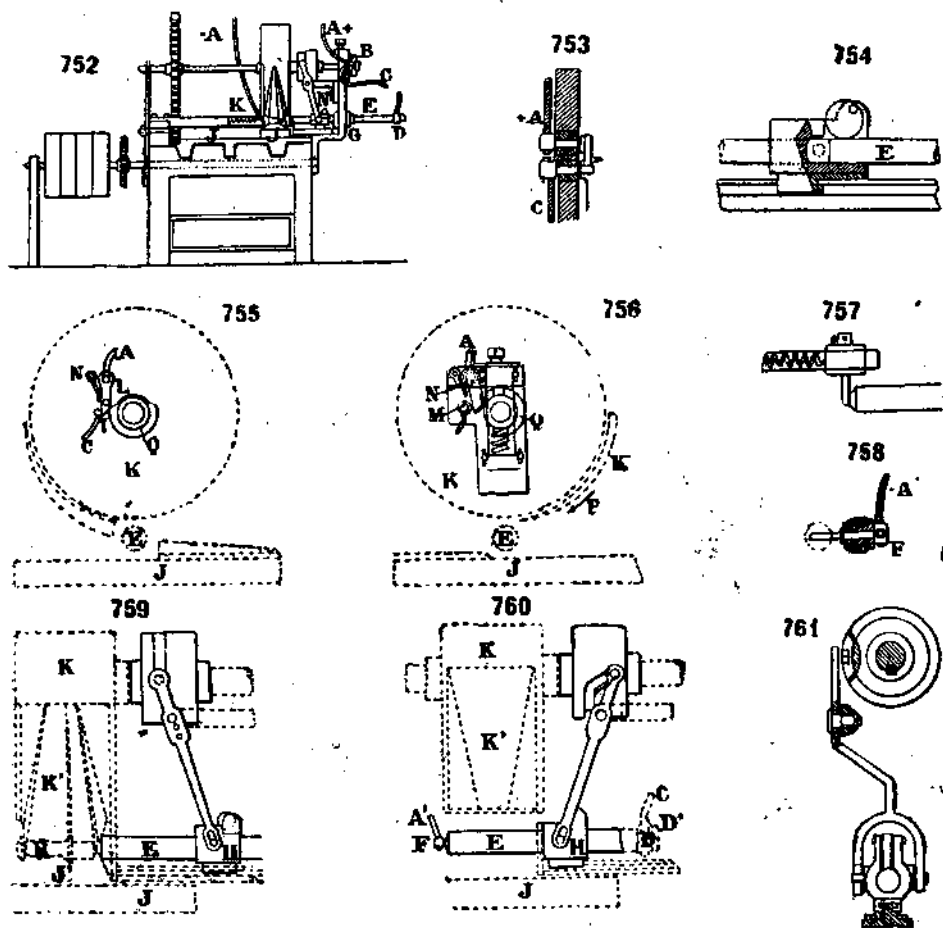


Рис. 752—761.

Конец провода $+A$ присоединен к выключателю B , а провод C присоединен одним концом к этому же выключателю, другим же к зажиму D , захватывающему полосу E позади механизма подачи. Этот зажим снабжен кольцом D' (рис. 760), позволяющим полосе поворачиваться вокруг своей оси под действием прокатных валков.

Конец провода A соединен с электродом F (рис. 760). Последний имеет автоматическую регулировку; его касается изделие, как только оно

¹⁾ Патент 6 мая 1890 г.

получает поступательное движение. Круглую заготовку *E*, служащую для изготовления таких изделий, как, например, рукояток, веретенных шпинделей, конических снарядов, болтов и т. п., вводят при разошедшихся валках и прерванной цепи, как показано на рис. 760. Заготовку пропускают через изолированное отверстие *G* в станине, изолированную муфту *H* механизма подачи и изолированные отверстия *J* между салазками с прямолинейным движением и валком *K*, пока заготовка не коснется автоматически регулирующего контакта *F*. После этого присоединяют к наружному концу этой заготовки зажим *D*, служащий вторым электродом. Затем рабочий замыкает цепь через заготовку, переводя рычаг *L* выключателя на контакт *M* (рис. 755 и 756), вследствие чего через заготовку проходит сильный ток. Так как сопротивление заготовки значительно, то она быстро нагревается. Цепь оставляют замкнутой, пока заготовка не достигнет требуемой для прокатки температуры. После этого размыкают выключатель, рычаг *L* которого отходит от контакта *M* под действием пружины, прерывая электрический ток.

После нагрева металла пускают машину в ход. Валок с рабочей поверхностью *K* поворачивается в направлении стрелки *P* (рис. 756), а плита движется прямолинейно-возвратным движением в противоположном направлении. В этом периоде операции цепь разомкнута, вследствие чего через заготовку не проходит ток. Заготовка *E* прокатывается вследствие вращения вокруг своей оси между валком и плитой (рис. 759). Плита *J* и валок *K* проходят достаточное расстояние, чтобы отделиться и отойти от изделия и прервать контакт (рис. 755). Как только заготовка освободится, конец кулака *Q* (рис. 755) встречает изолированную поверхность рычага *L* выключателя и поворачивает его так, что он касается контакта *M*, замыкая цепь и вновь пропуская через заготовку электрический ток. Движение плиты и валка регулируют таким образом, чтобы заготовка поспевала достаточно прогреваться. Выключатель регулируют так, чтобы он был совершенно разомкнут, когда заготовка соприкасается с плитой и валком, и тотчас же замыкался, когда они расходятся в конце хода. Электрический нагрев возможен также и в машинах с двумя вращающимися валками.

III. Геликоидальная (винтовая) прокатка.

Геликоидальная (винтовая) прокатка занимает среднее место между поперечной и продольной прокатками. Этого рода прокатка вызывает спиральные сдвиги волокон металла с постоянным или переменным шагом.

Изделие и инструменты обладают относительным винтовым движением, обычно состоящим из поступательного и вращательного. Инструменты чаще всего представляют собой вращающиеся диски или валки. Изделию придают поступательное и вращательное движения с переменными скоростями, вызывающие скручивания, действия которых слагаются с действиями собственно прокатки.

Этим процессом, комбинируя прокатку с процессомковки на оправке, можно получать изделия с круглыми постоянными или переменными сечениями, как, например, винты, трубы, изделия различной формы. Процесс возможен и без применения оправки.

Инструменты располагаются различными способами.

Для отделки начисто круглых изделий (эта работа является одной из главных операций винтовой прокатки) прокатный стан

(рис. 762)¹⁾ снабжается четырьмя валками одинакового диаметра, вращающимися в одном и том же направлении. Валки на большом протяжении своей длины имеют коническую форму, при чем концы их, откуда поступает заготовка, покрываются винтовой резьбой. Валки образуют как бы гайку, захватывающую конец заготовки и протягивающую ее дальше между гладкими поверхностями валков, где она подвергается точной калибровке.

Продольное поступательное движение заготовки при ее поступлении в валки равняется шагу p их резьбы. Вращательное перемещение равняется πd , где d средний диаметр валков. Отношение продольной скорости заготовки к скорости вращения равняется $\frac{p}{\pi d}$. Это отношение при чистовой отделке изделия годится скорее для поперечной прокатки, нежели для продольной вытяжки.

Если допустить, что между заготовкой и инструментами не происходит вовсе скольжения, то заготовка будет постепенно скручиваться.

Назовем через d' средний диаметр на винтованной части валков, через d'' диаметр валков на стороне выхода заготовки, через d_1 диаметр заготовки до вступления в валки, через d_2 диаметр ее при выходе из валков. При одном обороте валков число оборотов изделия при вступлении его в валки будет $n' = \frac{\pi d'}{\pi d_1} = \frac{d'}{d_1}$. Число оборотов при выходе из валков будет $n'' = \frac{d''}{d_2}$.

Если назовем через l длину валков, а через n' — n'' число витков, то средний шаг спиралей, получающихся от скручивания заготовки, будет равняться $\frac{l}{n'' - n'}$.

Скручивание заготовки обычно имеет меньшее значение, так как сцепление по мере приближения заготовки к выходу из валков уменьшается настолько, что уже не в состоянии преодолевать сопротивления металла скручиванию. Вследствие этого возникают скольжения, способствующие выравниванию и заглаживанию поверхности изделия.

Валки заканчиваются цилиндрическими частями также для достижения более точной отделки поверхности изделия.

Так как скручивание действует одновременно или последовательно и непрерывно на различные волокна металла отдельного участка изделия, то образующие, прямолинейные в начале операции, свертываются в спираль. Таким образом, обе образующие, соответствующие концам одного и того же диаметра, становятся двумя противоположными спиралями, с одинаковым шагом. Таким образом все наружные спирали,

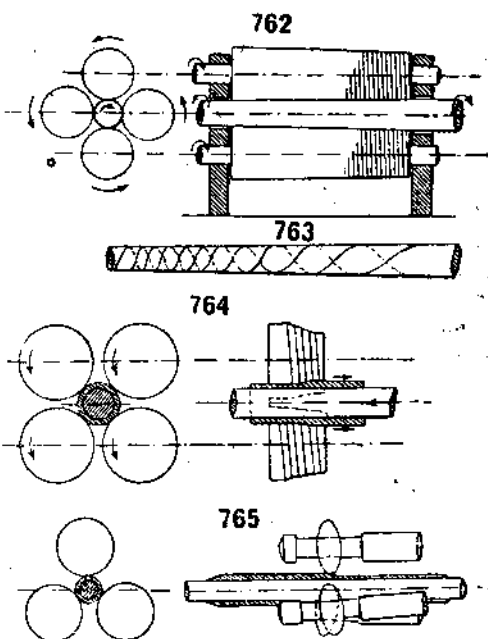


Рис. 762—765.

¹⁾ Прокатный стан Тейльяр (Teillard), патент 7 июля 1864 г.

соответствующие различным образующим, получают один и тот же возрастающий шаг и направлены в одну и ту же сторону (рис. 763). Увеличение шага прекращается, когда изделие выходит из валков.

При вытяжке трубы без шва последняя монтируется на оправку (рис. 764)¹⁾. Оправка поддерживает стенку трубы и служит как бы внутренним валком, выполняющим вместе с четырьмя наружными валками операцию вытяжки. Таким образом прокатка развивается в четырех попарно противоположных зонах.

Для большей интенсивности операции, часть поверхности валков покрывается спиральной насечкой. Эти поверхности производят постепенные сдвиги металла в продольном направлении, тогда как гладкие части валков выравнивают поверхности изделия.

Независимо от вращательного движения в одном и том же направлении, эти четыре вала, смонтированные на общем суппорте, имеют также поступательное продольное движение. Заготовка вращается в обратном направлении, под действием силы сцепления с валками. Часть трубы, находящейся вне валков, скользит по оправке по мере своего удлинения.

Так как валки или ролики короткие, то скручивание изделия сравнительно невелико.

Винтовое перемещение трубы достигается путем расположения валков или роликов, как показано на рис. 765²⁾. Три ролика, устанавливаются на валах, составляющих между собой определенный угол. Они вращаются в одном направлении. Верхний ролик наклонен вправо к горизонтальной плоскости, два других ролика наклонены также вправо и одновременно расположены по диагонали. Правый из них наклонен вперед, а левый — назад. Таким образом ролики соприкасаются с трубой по трем винтовым линиям.

Ролики уменьшают толщину стенок трубы в несколько последовательных пропусков или в несколько пропусков в обоих направлениях, для чего изменяют направление их вращения.

Иногда оправка приводится во вращение сцеплением с роликами, что, однако, не всегда возможно, так как прокатка увеличивает внутренний диаметр трубы, вследствие чего прекращается необходимое для вращения оправки трение. Однако, при обработке массивных изделий, при выправке круглых брусьев, трансмиссионных валов, а также при незначительной вытяжке заготовок из меди или других металлов, прокатываемых в холодную, такое устройство упрощает приводный механизм.

При винтовой прокатке или при прокатке наклонными роликами, составляющие перемещений наружных частиц металла, соприкасающихся с инструментами, получают значения, пропорциональные скоростям $V \cos \alpha$ и $V \sin \alpha$ (рис. 766), где α угол между осью заготовки и осью ролика. Составляющая $V \cos \alpha$ получается вследствие вращательного движения, которое стремится принять заготовка и наружные части металла. Составляющая $V \sin \alpha$ вызывает продольное движение заготовки вдоль ее оси. Если последняя не достигает значения $V \sin \alpha$, то это происходит вследствие того, что соприкасающиеся с валками частицы увлекают трением соседние части металла.

Процесс винтовой прокатки применяется также для накатки резьбы. Соответственно направляемая заготовка (рис. 767—769) помещается между двумя роликами, вращающимися друг против друга в одном и том же направлении. Цилиндрические или слегка конические части

¹⁾ Патент Клоуэс и Рандольф (Clowes and Randolph), 15 июля 1890 г.

²⁾ Патент Брокара (Broccard), 26 ноября 1863 г.

этих роликов образуют резьбу, для чего на них устроены соответствующие винтовые углубления. Наклон резьбы винта получается несколькими способами. Помещая оси роликов параллельно, угол наклона резьбы можно получить лишь путем высадки металла в обжимаемых поверхностях и в точности под этим углом относительно оси вращения. Помещая оси вращения роликов под углом наклона их собственной резьбы, на стержне образуется резьба, шаг которой равняется нулю, т. е. кольцевые выступы или углубления. Таким образом ясно, что в этих пределах возможна накатка резьбы любого наклона в зависимости от величины диаметра стержня.

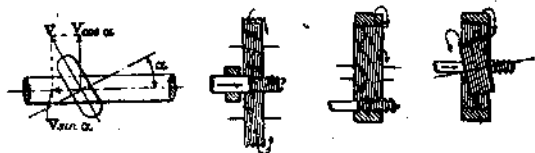


Рис. 766—769.

Продолжительность нахождения изделия между инструментами при первого рода устройстве зависит от числа ниток резьбы. Стержень при каждом обороте роликов подвигается на длину одного шага. Так как продолжительность операции ограничена, то резьба может образоваться неудовлетворительно.

Изменяя углы наклона, можно по желанию изменять скорость движения изделия. Для этого изменяют угол обеих осей вращения роликов и угол резьбы относительно осей вращения. Сумма этих уменьшенных углов равняется углу наклона резьбы.

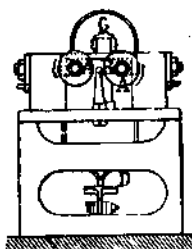
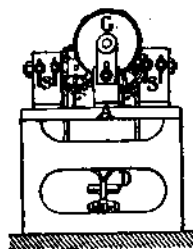
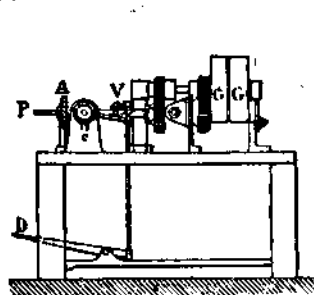


Рис. 770—773.

заготовки и придавать накатываемой части наружный диаметр, немного меньше диаметра круглого железа.

Допустим, что требуется накатать резьбу под углом в 30° . Если предполагают пропустить инструмент три раза по каждой точке резьбы, то делят угол в 30° на три части по 10° каждая, вследствие чего угол наклона резьбы инструмента относительно оси вращения будет равняться 20 градусам. Можно также, в случае надобности, воспользоваться узкими кольцами с различными резьбами.

На рис. 770—773¹⁾ изображена машина для накатки резьбы, основанная на этом принципе. Она имеет два ролика *A*, установленных:

¹⁾ Машина Симона, патент 29 июня 1878 г.

на валах *B*, вращающихся в одном и том же направлении шестереночной передачей от шкивов.

По мере образования на стержне *P* резьбы, оба ролика должны сближаться для придания ей требующихся глубины и соответствующих размеров. Для этого валы *B* соединены с обоймами *M*, составляющими одно целое с винтами *V* противоположного шага.

Обоймы *H*, представляющие гайки винтов *V*, при нажиме на педаль *D* сдвигают или раздвигают валы *B*. Педаль *D* соединена с обоймами винтов траверсой *E*.

Для изменения наклона валов *B*, обойму *N*, находящуюся рядом с шестернями, можно перемещать посредством салазок *S*, после чего последние закрепляются болтами.

Вал передаточных шестерен может перемещаться для достижения правильного сцепления зубцов. При изготовлении винтов переменного диаметра и при некоторых производствах передвижение валов *B* производится автоматически кулаками.

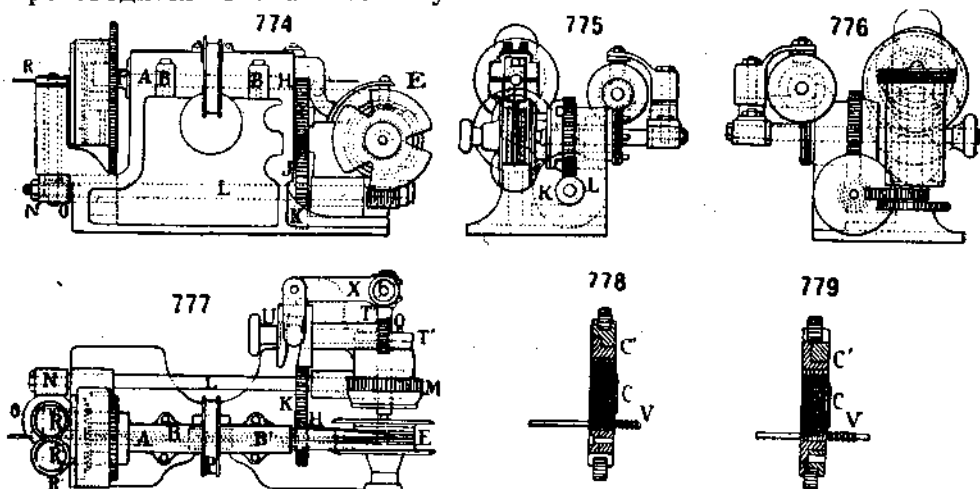


Рис. 774—779.

В некоторых машинах устраиваются три или четыре ролика. В последнем случае два верхних ролика несколько больше двух нижних, вследствие чего наклон резьбы на роликах разных диаметрах не всегда одинаков. При применении двух роликов получается более гладкая и точная отделка резьбы. Ролики обычно не закаливаются, диаметр их в среднем равняется от 50 до 80 миллиметров и более. Винтовую резьбу на роликах нарезают начерно на токарном станке и заканчивают на самой машине плашками.

На рис. 774—783 изображена другая машина, действующая давлением и служащая для накатки резьбы на металлическую проволоку неограниченной длины¹⁾.

Проволока подается парой направляющих роликов *RR'*, не позволяющих ей вращаться. Скорость подачи можно регулировать. Желобки роликов имеют небольшие выступы или зубцы, зажимающие проволоку. Они прижимаются друг к другу винтом, действующим на опорные подшипники их валов.

Тотчас по выходе из роликов проволока проходит между двумя валками *CC'*, нарезающими резьбу (рис. 778—779). Один из валков

¹⁾ Патент Дорман 13 мая 1889 г.

представляет собой кольцо со спиральной или циркулярной резьбой на внутренней окружности, а другой валок цилиндрический с резьбой на своей наружной поверхности. Эти инструменты служат для накатки резьбы.

Они вращаются с одинаковой скоростью на окружности, чтобы насколько возможно уменьшить трение и скручивание накатываемого изделия.

Угол наклона резьбы валков должен быть таким, чтобы при

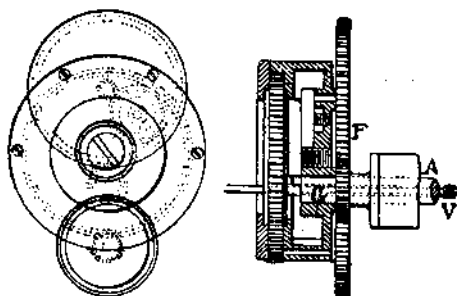


Рис. 780.

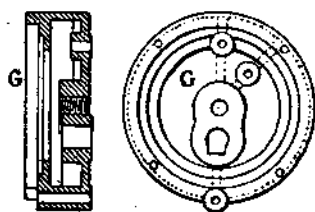


Рис. 781.

одном обороте валка C каждая нитка подвигалась на расстояние, равное половине шага накатываемого винта.

Поступательное движение проволоки, вызываемое роликами R, R' , точно так же должно равняться половине шага винта V . Шаг резьбы валков и шаг винта V одинаковы.

Совершенно так же обстоит дело, если накатные валки имеют кольцевую резьбу. В этом случае кольцо и валок устанавливаются под таким углом, что циркулярные витки каждого из них находятся под тем же углом, равным среднему углу накатываемой на проволоку резьбы (рис. 783).

В начале операции несколько утоньшают конец проволоки на протяжении немного большем расстоянии между накатными валками и барабаном E (рис. 774), на который наматывается проволока.

Проволоку утоньшают настолько, чтобы она могла пройти между валками, не касаясь последних. Эту проволоку пропускают через полый вал A (рис. 780), после чего закрепляют к барабану E (рис. 774). Барабан E , вращаясь, понемногу вытягивает проволоку между образующими резьбу валками. Барабан имеет также поперечное возвратно-поступательное движение, чтобы проволока могла равномерно наматываться рядами по всей его длине. Металлическая проволока проходит по оси полого приводного вала A , лежащего на подшипниках BB' . На этом валу надет приводной шкив P , вращаемый ремнем. На наружном конце вала A надета коробочка с шестерней G (рис. 780—781), соединенная с валками CC' , которые вследствие этого вращаются вместе с валом A .

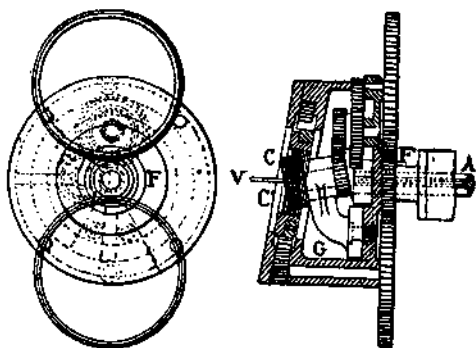


Рис. 782—783.

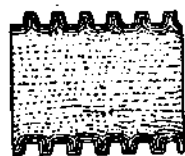
Позади шестерни G помещается неподвижная шестерня, которая посредством промежуточных шестерен, установленных на коробке, вызывает вращение прокатных валков CC .

Ролики, подающие проволоку, приводятся в действие шестернями H, I, J, K , валом L , червяком N и соответствующим колесом O , а также шестернями, установленными на валах роликов RR' (рис. 774 и 776).

Привод наматывающего проволоку барабана (рис. 779) состоит из червяка, укрепленного шпонкой на противоположном конце вала L , и колеса M , установленного на поперечном валу, в котором укреплен вал барабана E .

На поперечном валу Q насажен также червяк T , сцепляющийся с червячным колесом T' , монтированным на валу с кулаком U , действующим на рычаг X . Последний передвигает вал барабана во время его вращения в поперечном направлении¹⁾.

Накатка резьбы производится вхолостую, если размеры винтов невелики, вхолостую же изготовляют и шурупы для дерева; на крупных же изделиях резьбу накатывают в горячую. Длину заготовки иногда можно принимать равной $\frac{3}{4}$ длины готового изделия. Таким образом достигается значительная экономия металла, сравнительно с процессом нарезания резьбы режущими инструментами.



Резьба делается треугольного, квадратного, или закругленного сечения. Качество накатной резьбы не уступает качеству резьбы, нарезаемой плашками.

Накатка резьбы требует меньшей затраты труда нежели нарезка, операция производится быстрее, волокна металла не разрезаются, а плотно сжимаются, отчего резьба обладает большим сопротивлением. На рис. 784—785 изображено расположение волокон металла после операции в продольном разрезе.

Рис. 784—785.

При накатке глубокой резьбы можно довольно часто констатировать при разрыве центральную пустоту, происходящую от прокатки и поверхностной винтовой вытяжки металла.

Диаметр заготовок должен быть несколько меньше диаметра изготавливаемого винта для компенсации распухания изделия, имеющего место при накатке резьбы. Если диаметр заготовки слишком велик, то диаметр винта получится больше того, который требуется. То же самое происходит, если диаметр заготовки равен диаметру готового изделия. В противном случае резьба не вполне сформируется и не достигнет требуемой высоты. Для успешности накатки резьбы необходимо выяснить свойства металла путем испытания его сопротивления истечению, которое зависит от характера металла. Диаметр заготовки обычно увеличивают на величину, равную половине высоты резьбы. Диаметры заготовок стержней из мягкой стали, стали средней твердости и меди, не одинаковы. При накатке резьбы точно так же происходит увеличение длины заготовки, пропорциональное длине резьбы.

Винтовая прокатка производится также плитами или плоскими вращающимися дисками. Заготовка помещается между обоими дисками, приблизительно диаметрально.

Устройство, изображенное на рис. 786, первоначально применялось для чистовой прокатки круглых изделий и труб. Заготовка помещается между дисками свободно и направляется специальными подставками. Диски можно по желанию сближать между собой для зажи-

¹⁾ Подобный станок употребляется для изготовления медных сапожных винтовых шпилек. *Прим. ред.*

мания заготовки, они вращаются в ту или другую сторону по желанию. Заготовки данного диаметра можно довести до меньшего диаметра несколькими пропусками между этими дисками. Действуют диски весьма различно, в зависимости от того, соприкасается ли с ними заготовка по диаметру или по хорде, в зависимости от относительного положения осей дисков, а именно лежат ли они на одной линии, или параллельны или же наклонны и, наконец, в зависимости от вращения дисков в одном или в противоположных направлениях.

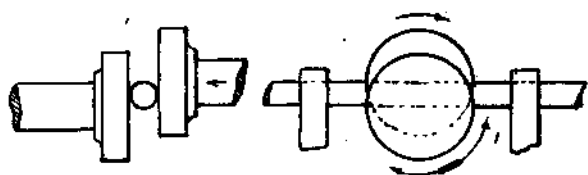


Рис. 786.

Допустим, что заготовка помещается между дисками, вращающимися в одном и том же направлении (рис. 787) по горизонтальному диаметру. Развивающееся трение вызовет вращение заготовки вместе с дисками вокруг общей оси дисков. Однако, если заготовку удерживать, не позволяя ей вращаться вместе с дисками, то последние будут

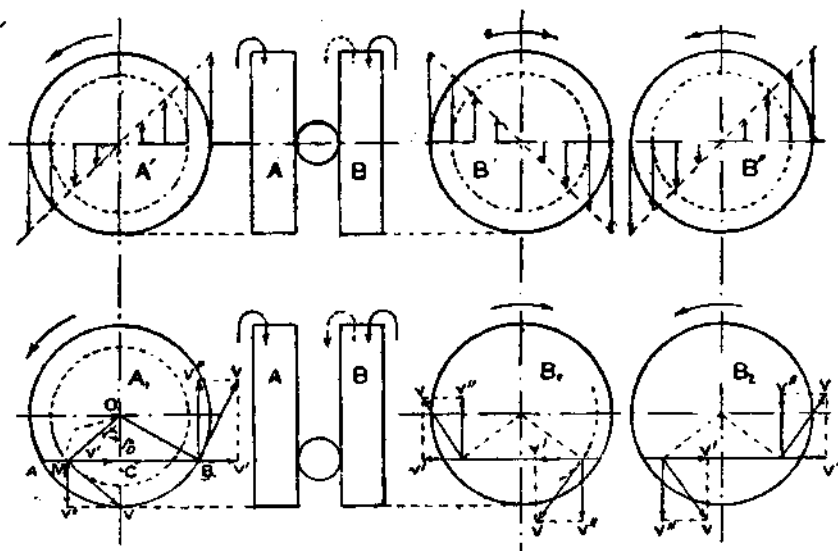


Рис. 787—788.

стремиться поворачивать ее вокруг оси, т.-е. прокатывать в противоположных направлениях. Если противодействующие усилия равны, то заготовка останется неподвижной и только возникнут скольжения на обеих ее образующих, соприкасающихся с дисками. Достигнуть такого равновесия на практике довольно трудно. Если оба диска вращаются в противоположных направлениях ($A' B''$), то при небольшом давлении действия усилий будут одинаковы, так же как и силы трения на каждом диаметре, вследствие чего они уравновесятся, образуя пару сил.

В этом случае заготовке надо придать собственное вращательное и поступательное движение, так как в противном случае диски будут только выравнивать и заполировывать ее поверхность.

Так как при сильном давлении между заготовкой и дисками развивается достаточное трение, обеспечивающее сцепление, и так как

диски вращаются в противоположных направлениях ($A' B''$), то скорости катания отдельных точек заготовки получаются неодинаковыми. Скорости катания пропорциональны расстояниям от центра до точек касания. Вследствие этого обе половины заготовки начнут скручиваться в противоположных направлениях, начиная от центра диска к его окружности. Такое прогрессивное скручивание представляет собой довольно сложное явление, которого мы не можем рассматривать здесь детально.

Надо заметить, что под действием прокатки заготовка вытягивается в обе стороны от центра и металла, растекается к противоположным концам диаметра дисков.

Если заготовка соприкасается с дисками по горизонтальной хорде (рис. 788), то вращательное движение диска со скоростью, равной V , в какой-нибудь точке соприкосновения, например, в точке M , направлено по касательной и дает продольную составляющую $V' = V \cos \alpha$ и составляющие катания $V'' = V \sin \alpha$.

Скорость V пропорциональна расстоянию от центра O различных точек хорды соприкосновения.

Расстояние какой-либо точки M от центра выражается уравнением:

$$r_1 = \frac{OC}{\cos \alpha} = \frac{r_o}{\cos \alpha}.$$

Так как скорость пропорциональна расстояниям OM , то ясно, что она достигает максимума на окружности и минимума, равного OC , в середине хорды касания. Скорости катания также больше на окружности дисков, нежели в центре.

Можно написать, что

$$V'' = V \sin \alpha = r_1 \sin \alpha = \frac{r_o \sin \alpha}{\cos \alpha} = r_o \operatorname{tg} \alpha$$

при $\alpha = 0$, составляющая катания также равна нулю.

Составляющая V' , вызывающая поступательное движение заготовки, представляет величину постоянную и равную

$$V' = V \cos \alpha = r_1 \cos \alpha = \frac{r_o \cos \alpha}{\cos \alpha} = r_o.$$

Таким образом, составляющие, вызывающие продольное движение заготовки, пропорциональны значению $r_o = OC$. Направления этих сил на одном и том же диске одинаковы, тогда как циркулярные составляющие на каждой половине хорды контакта направлены в противоположных направлениях.

При установке осей дисков на одной линии и при вращении их в том же направлении ($A_1 B_2$), продольные составляющие, действующие на оба конца заготовки, слагаются, а составляющие катания, действующие также на обоих концах заготовки, уравновешиваются и не вызывают в данном случае ни катания, ни скручивания.

Таким образом, заготовка получает одно только поступательное движение, так как катания в этом случае не происходит.

Чтобы вызвать катание, прекратив поступательное движение заготовки, необходимо, чтобы диски вращались в обратных направлениях ($A_1 B_2$). В этом случае по обе стороны от центра диска будет происходить скручивание заготовки.

Если желательно вызвать одновременно и катание и продольное движение заготовки, необходимо, чтобы с дисками соприкасалась только часть ее образующих. Это достигается наклонной (рис. 789) установкой осей дисков и вращением их в противоположных направлениях.

Перемещая заготовку вертикально, т.е. изменяя ее положение относительно центра вращения, можно изменять по желанию как ее продольное движение, так и вращательное.

Так как скорости в различных точках касания заготовки неодинаковы и возрастают с удалением от центра к окружности, то они вызывают или скольжения, полирующие поверхность изделия, или скручивающие усилия, располагающие волокна металла по спирали в одном только направлении.

Оси дисков необходимо располагать таким образом, чтобы одна из них находилась несколько выше другой (рис. 790). При таком расположении на одном из дисков уничтожаются продольные составляющие, т.е. составляющие, действующие в направлении, противоположном требуемому продольному движению. Изделие помещается в этом случае против оси диска *B*, причем заготовка соприкасается с частью диаметра этого диска, тогда как с диском *A* заготовка касается по хорде. Вследствие этого продольное движение заготовки вызывается составляющими, развивающимися на линии контакта с этим последним диском.

Таким образом, составляющие катания преобладают на диске *B*, а составляющие на диске *A* образуют с составляющими диска *B* крутящие пары, катящие заготовку с переменными скоростями. Эти скорости почти пропорциональны расстояниям точек касания от вертикального диаметра каждого диска, полагая, что при этом не происходит скольжения.

Угловая скорость катания много больше при выходе изделия из дисков, нежели при входе. Так, например, против центров дисков скорость эта может равняться нулю. Если d — диаметр диска, d' — диаметр изделия, то число оборотов заготовки при выходе ее из дисков будет приблизительно пропорционально $\frac{d}{d'}$.

Таким образом, переменные скорости катания вызывают скручивание изделия или сдвигают металл на поверхности его по спирали, если общее сопротивление скручиванию больше местной вытяжки. Точно так же, как и при продольной прокатке, поступательное движение изделия может иметь место только тогда, когда равнодействующая трений превышает равнодействующую реакций дисков на изделие. В противном случае между дисками и изделием будет происходить только скольжение.

Поэтому наклон дисков, изображенный на рис. 791, не может произвести уменьшения диаметра свыше определенного предела, зависящего от коэффициента трения, который является одним из преобладающих факторов. При сильном уменьшении диаметра необходимо подавать заготовку, прилагая к ней силу *P*. Стремление увеличить угол наклона осей дисков привело к применению конических дисков или дисков с закругленным профилем (рис. 792), действие которых аналогично действию плоских дисков.

Изменяя угол между осями, пока они не станут почти параллельными или перпендикулярными друг другу, подошли к устройству роликов, профиль которых можно изменять по желанию в зависимости от условий работы.

В итоге, в зависимости от относительного положения инструментов и заготовки, эта последняя может оставаться неподвижной, вращаться на месте вокруг своей оси, двигаться вперед или назад с различными скоростями, уменьшаясь при этом в сечении, или удлиняясь и выравниваясь. При соответственном устройстве стана можно по желанию вызывать то или другое движение изделия.

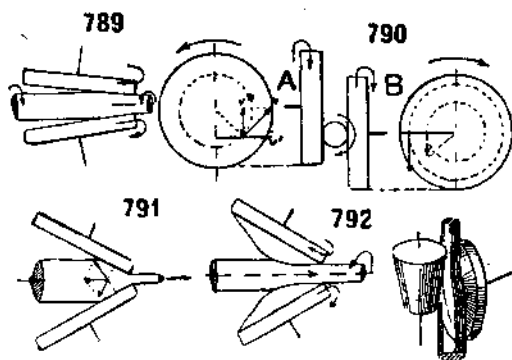


Рис. 789—792.

Среди дисковых прокатных станов назовем стан Рейнгардта-Маннесмана (рис. 793—795), прототипом которого нужно считать стан Лаутса (Lauth). Стан позволяет изменять условия работы, вследствие чего им можно пользоваться как для вытяжки стальных болванок при высокой температуре, так и для придания окончательной формы различным изделиям при посредстве вспомогательных оправок или без них.

На рис. 793¹⁾ диски немного наклонены друг к другу в горизонтальной плоскости и ось одного из них находится несколько выше оси другого. Валы дисков лежат на двух симметричных подшипниках, расположенных и связанных между собой поперечной траверсой, укрепляемой болтами и позволяющей по желанию изменять угол наклона. Вертикальное расстояние между осями обоих дисков легко изменяется установочными клиньями. Энергия передается валу *E*; шестерня *K* частью передает вращение посредством шестерни *L* диска *A*, а частью посредством кардана *A'* валу *F*, несущему шестерню *P*. Последняя посредством шестерни *D* вращает в обратном направлении шестерню *Q* (рис. 793), соединенную с осью второго диска *B*. Заготовка вводится со стороны *R* и выходит на стороне *S*. Скорость на окружности заготовки больше на стороне *S* стана, нежели на стороне *R*.

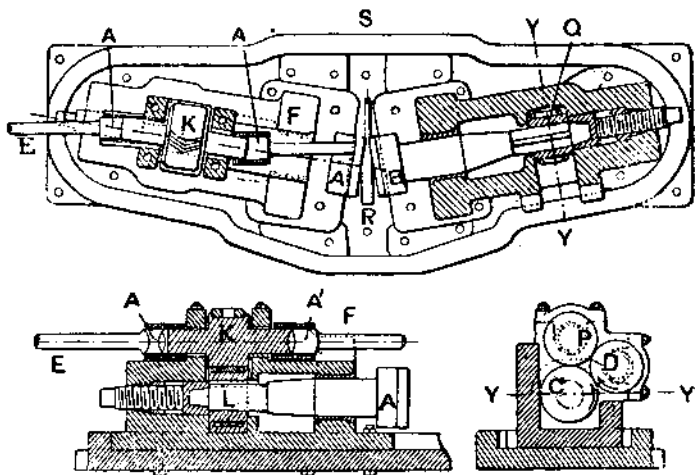


Рис. 793—795.

Оба диска *A* и *B*, вращаясь в противоположных направлениях, вызывают вращение изделия вокруг его оси. Две горизонтальных направляющих, положение которых можно изменять в зависимости

¹⁾ Патент 27 января 1885 года.

от размеров изделия (не изображенные на этом рисунке), поддерживают последнее в направлении продольного перемещения.

Соответствующие точки дисков захватывают заготовку на одной и той же окружности и, вращая ее, подвигают одновременно вперед в направлении ее оси. Поступательное движение заготовки тем больше, чем больше расстояние между осями обоих дисков.

Так как трение между дисками и заготовкой пропорционально скорости вращения, то последняя подается вперед к наиболее узкому месту между дисков. По мере приближения изделия к выходу скорость вращения его постепенно возрастает, а диаметр уменьшается. Вследствие этих двух одновременных воздействий происходит постепенно возрастающее скручивание волокон металла. Так как материал оказывает кручению большое сопротивление, то наружные волокна его сильно вытягиваются, чем избегается сжатие заготовки между дисками. Можно сказать, что при таких условиях заготовка подвергается только одной вытяжке.

Путем изменения эксцентриситета обоих дисков (эксцентриситетом называется половина вертикального расстояния между осями дисков) и их взаимного наклона, можно получить в каждой точке дисков наименьшее изменение формы, так как с уменьшением эксцентриситета, расстояние между витками спирали, описываемой точкой на поверхности изделия, все время уменьшается. Точно так же конус, который получается на заготовке при переходе ее от большего диаметра к меньшему, постепенно увеличивает вытяжку, вследствие увеличения числа оборотов последней, происходящего при сближении центров дисков.

Изменение эксцентриситета и наклона дисков производится специальными приспособлениями при остановке стана. Тем не менее при помощи специальных приспособлений такая установка возможна и во время работы машины. Таким образом, можно по желанию регулировать изменения формы и размеров изделий.

Путем изменения положения одного из дисков, переставляя его вперед или назад в направлении оси или путем соответственного изменения эксцентриситета, можно также производить прокатку круглых изделий любых размеров. Такую установку можно произвести, переставляя одновременно оба диска в направлении оси специальными шестереночными передачами.

Этот стан можно назвать универсальным в полном смысле слова, так как при замене очень небольшого количества частей на нем можно прокатывать всевозможные профили, трубы, полые валы, трубы с резьбами, трубы с внутренними или наружными ребрами наклонными или параллельными оси, или трубы и трубки с неодинаковой толщиной стенок, полые балки, круглые брусья или трубы с зубцами внутреннего или наружного зацепления, заготовки для изготовления фрез и расточек, — одним словом, всякого рода профилированные изделия, прокатка которых на других станах затруднительна.

По мере постепенного уменьшения эксцентриситета осей дисков поступательное движение изделия замедляется и вовсе прекращается при совпадении обеих осей. Изменяя эксцентриситет в противоположную сторону без изменения скорости или направления вращения дисков, изделие получает обратное поступательное движение. Если диски симметричной формы, то они работают одинаково хорошо как при поступательном движении изделия вперед, так и при обратном его движении.

Снабжая диски узким кольцевым выступом, можно на одном и том же стане прокатывать балки для шасси и изделия фасонированные по всей длине, изделия с переменным профилем независимо от их размеров. Такая прокатка возможна, так как в каждый момент можно уменьшить или увеличить продольное движение изделия, а также посредством нажимных винтов изменять по желанию в нужных местах его диаметр.

Те же результаты можно получить, пользуясь плоскими, коническими или выпуклыми дисками, или немного вогнутыми дисками, или дисками в виде тарелок. Последние действуют лучше, так как автоматически поддерживают заготовку в среднем положении и при них в значительной мере избегается образование центральных пустот. Эти диски особенно пригодны для прокатки крупных изделий.

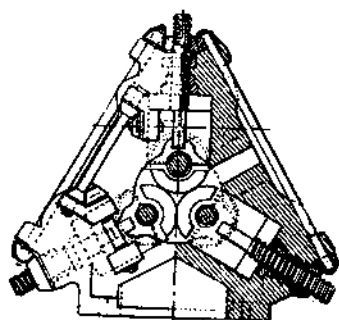


Рис. 796.

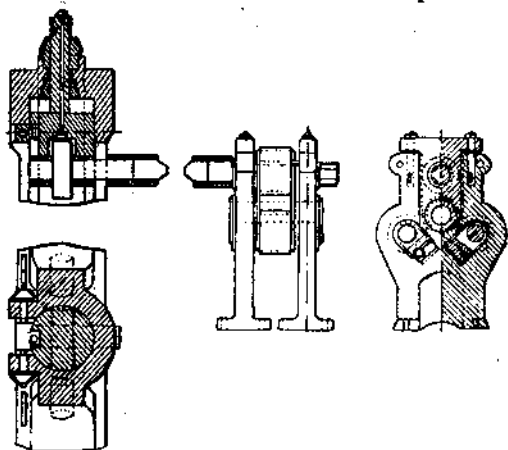


Рис. 797—800.

При вытяжке толстых болванок лучше пользоваться станом с тремя или четырьмя роликами, действующими на одну и ту же окружность болванки, как то можно видеть на рис. 796—800. В этом случае центральные части металла не могут расходиться даже при сильном сокращении сечения. Этот универсальный стан-трио аналогичен стану-дуо. Его можно превратить в реверсивный стан путем изменения эксцентриситета дисков. Такой стан позволяет прокатывать шары или шаровые сегменты, заменяя передаточные шестерни и изменяя расстояние между противоположными дисками таким образом, чтобы первый диск оставался в своем нормальном положении, тогда как второй подвигал бы изделие вперед и назад, а третий помимо нормального вращения вместе с тем подвигал заготовку одновременно назад.

При двух дисках, выведенных из нормальной плоскости вращения, один двигает изделие вперед, другой диск двигает его назад и в то же время не допускает никакого перемещения изделия вперед или назад или в стороны. Таким образом изделие, помимо вращения, параллельного направлению движения диска, может получить движение под углом к движению диска. Диски таким образом непрерывно разграничивают наибольшие окружности сферы и образуют полную сферу или часть сферы, как только прекращается поступательное движение изделия вперед или назад и в зависимости от перемещения осей относительно друг друга.

Вследствие этого можно прокатывать полные сферы, так же как и изделия с шаровыми профилями, как, например, оси с шаровыми шарнирами.

Пользуясь тремя полыми дисками, удерживая заготовку в середине, становится возможной сферическая вытяжка последней между этими тремя дисками.

При двух или трех дисках, формы изображенной на рис. 801, на реверсивном стане можно прокатывать цапфы с шейками и опоры аналогичной формы.

Диски, изображенные на рис. 802, позволяют фасонировать из прутьев болты с заостренными головками, обрезая их по длине.

Пользуясь дисками, изображенными на рис. 803, и заменяя передаточные шестерни, приводящие в движение их валы, с таким расчетом, чтобы один из дисков оставался неподвижным, второй вращался вправо, а третий влево, можно прокатывать сферические части изделий, диаметр которых можно изменить по желанию, начиная с наименьшего расстояния между роликами.

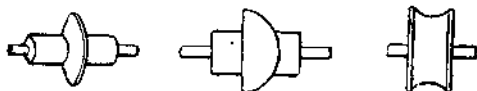
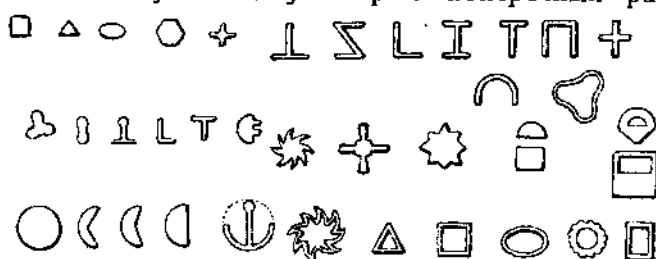


Рис. 801—803.

При производстве брусков или изделий с наружными или внутренними профилями (рис. 804), при выходе изделия из дисков помещают чистовой калибр. Изделие проходит через этот калибр под давлением наклонного диска прокатного стана-дуо, с такой силой, что его металл заполняет мельчайшие углубления и закругления профиля последнего, и вместе с тем так, что не происходит высадки металла. Поступательное движение изделия можно регулировать очень точно, изменяя расстояние между обоими дисками наружным винтом. Таким способом можно получить целую серию поперечных размеров или профилей



—Рис. 904.

как, например, профили зубчатых колес, рубчатых валков и т. п. при одном пропуске больших болванок.

Для прокатки коробчатых, тавровых и двутавровых балок пользуются приемными оправ-

ками или фасонными плитами, которые вдавливаются в прокатываемую массу по мере движения последней под напором дисков. Эти оправки не имеют поступательного движения, и укрепляются таким образом, что металл изделия скользит по ним, принимая сечение, соответствующее свободному проходу.

Диски захватывают металл параллельными бороздками или спиральными насечками, усиливающими захват. Оправки устраиваются со скосами для облегчения постепенности образования формы изделия.

Комбинируя приемные оправки и выходные калибры, изделию сперва придает приближенную форму так, что для окончательной его отделки требуется только калибровка.

Калибр чаще всего снабжают упорной пятой так, чтобы он мог вращаться вместе с изделием, не сдвигаясь, однако, при этом в продольном направлении.

Если калибр имеет скрученный профиль, то такой же профиль принимает и изделие. На прокатном стане можно получать одним пропуском такие изделия, как, например, круглые бруски с калибро-

ванными зубцами, служащие для изготовления шестерен путем резки их на части, круглые или скрученные спиралью тела и т. п.

При всех профилях калиброванного изделия можно получать скручивание волокон металла в нужном направлении. Для этого при обжиме болванки ей придают вращательное движение в направлении профиля чистового калибра. Скручивание волокон металла железных рельсов обладает тем преимуществом, что при изнашивании слои его не отделяются в виде листочков или тонких пластинок. Такое наклонное относительно направления изнашивания расположение волокон выгодно не только в рельсах, но также и во многих других изделиях.

Если приемная оправка воздействует не на наружную часть изделия; а всецело или отчасти на его внутреннюю сторону (рис. 805),

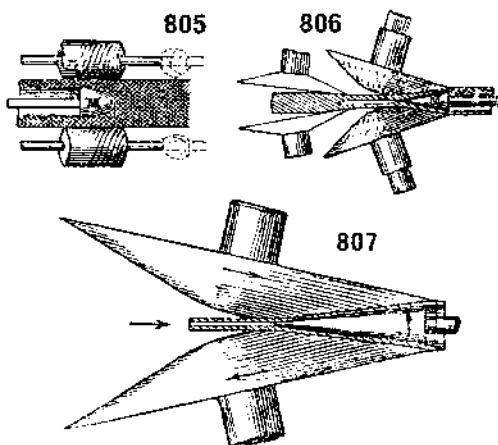


Рис. 805—807.

то ее снабжают головкой *М*, расширяющей заготовку. Вследствие этого из железной или стальной болванки или из заготовки иного металла можно получить в один пропуск трубу, наружный диаметр которой соответствует минимальному расстоянию между окружностями роликов или дисков.

Головка приемной оправки иногда устраивается в виде конического ролика, чтобы уменьшить трение и охлаждение изделия. Головка должна находиться в точности против того места, которое подвергается воздействию дисков.

Иногда на конце оправки делают резьбу, которой ее ввертывают в металл, для чего в последнем при отливке оставляют углубление или проделывают такое перед прокаткой (рис. 806)¹⁾.

Если требуется расширить трубу (рис. 807), диски покрывают соответствующими насечками, идущими в направлении более или менее параллельном направлению оси. Насечки располагают таким образом, чтобы углубления, остающиеся на стенках трубы одним диском, пересекались с углублениями от второго диска. Насечки служат почти исключительно для расширения материала или увеличения диаметра трубы. Наружные насечки могут быть всевозможного сечения, треугольного, закругленного и т. п. Они постепенно уменьшаются к месту выхода трубы и, в конце-концов, исчезают совершенно, для того чтобы поверхность трубы была гладкою.

Головка оправки вращается вместе с трубой, что уменьшает трение. Гладкая внутренняя поверхность трубы получается вследствие продольного сдвига металла. Насечка дисков уменьшает затраты энергии. Придавая насечкам у основания конуса соответствующий профиль, на прокатываемых трубах можно устраивать насечки, продольные углубления или ребра. Таким процессом пользуются, например, при прокатке круглых брусьев, служащих для изготовления мельничных валцов, дробилок, фрез или разверток. Придавая насечкам

¹⁾ В описании производства цельнотянутых труб, во втором томе нашего исследования, мы приводим процессы Робертсона, который комбинирует вместе прокатку и пробивку массивных болванок.

одинаковый угол наклона относительно оси, а окружностям дисков на стороне выхода изделия профиль шестерни, можно получать трубы с соответствующими зубцами на поверхности. Таким образом изготавливаются трубы с шестереночными и фрезерными зубцами на наружной поверхности и со всякого рода ребрами, устраиваемыми на трубах для парового и водяного отопления.

Если головке оправки со стороны выхода изделия придать фасонный профиль, то внутренность трубы получает соответствующую, охватывающую форму. Таким образом изготавливают трубы для водяного и парового отопления с внутренними ребрами.

Придавая оправке скрученный по спирали профиль, как, например, профиль спиральных фрезерных зубцов или винтовой резьбы и т. п., можно придать изделию соответствующую форму.

Приспособления стана-трио для предупреждения образования центральных пустот применимы также при вытяжке труб, внутренний диаметр или поперечное сечение которых уменьшают с целью увеличения длины. В этом случае оправка придает коническую форму, соответствующую изменению диаметра трубы. Труба принимает внутренний диаметр, соответствующий диаметру конической оправки в том месте, где в данный момент диски воздействуют на ее поверхность. Таким образом, перемещая оправку, можно по желанию уменьшать внутренний диаметр трубы.

Для таких работ всегда пользуются универсальным станом, так как последний дает возможность изменять по желанию наружный диаметр трубы, изменяя положение дисков без всякой замены как этих дисков, так и оправки.

Так как, кроме того, в каждый данный момент можно изменить как внутренний, так и наружный диаметр трубы в любом месте, то этим способом можно получать полые изделия, представляющие тела вращения с внутренним и наружным профилем, как, например, изображенные на рис. 808 и 809. Точно так же возможно производство труб с высадками на концах или в нескольких местах или с теми и другими одновременно, производство труб в виде воронки или реторты, волнистых труб Фокса и Галлоуэя и т. п.

Если между дисками поместить обжатую болванку, диаметр концов которой меньше расстояния между дисками, то последние не подвергнутся прокатке. Вследствие прокатки одной только средней части болванки концы ее останутся неизменными, тогда как внутри средней части образуется пустота.

Таким образом выделяют закрытые с обоих концов сосуды для хранения жидких газов, которые должны обладать очень высоким сопротивлением. Точно так же можно выделять полые оси с массивными шейками (рис. 810), обладающие большим сопротивлением изгибу и скручиванию. Вырезанные из таких изделий образцы металла показывают исключительную вязкость и текучесть последнего. Вязкость возрастает еще больше, если слегка выправить волокна металла прокаткой в обратном направлении. Такая прокатка способствует переплетанию волокон и увеличивает однородность металла. Спиральное расположение волокон металла, отсутствие сварного шва и самый

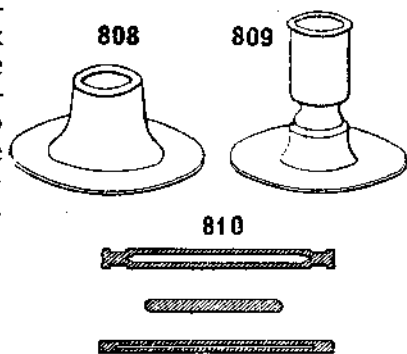


Рис. 808—810.

характер производства, которого не в состоянии выдерживать металлы сомнительного качества, служат гарантией доброкачественности изделий.

При расширении кольцевых болванок на стане-трио, вследствие симметричного расположения дисков, можно получить толстостенную трубу, диаметр которой равняется наибольшему диаметру болванки.

Если изменить эксцентриситет дисков и отвести заготовку назад, а вслед за тем изменить расстояние между дисками и заменить оправку, обжатую трубу можно вытянуть. Таким образом, реверсируя стан, можно по желанию прокатывать трубы, всякого рода сплошные цилиндрические изделия, полые болванки каких-угодно размеров, но сечение которых меньше первоначального сечения кольцевой болванки.

При поступательном движении оправка действует давлением, при возвратном движении — тягой.

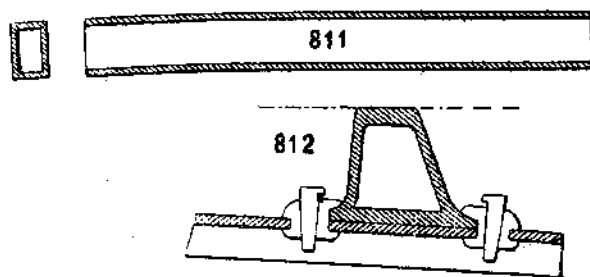


Рис. 811—812.

Этим же процессом можно с успехом пользоваться при изготовлении очень длинных труб небольшого диаметра. Таким образом можно получить очень длинные трубы с чрезвычайно тонкими стенками. В данном случае можно также вызвать и скручивание волокон металла. Для этого не-

обходимо, чтобы отношения диаметров дисков к диаметрам изделия при входе и выходе их не были одинаковы; можно также пользоваться заготовками, получившими уже спиральное расположение волокон.

При равномерной толщине стенок получают более прочные трубы. Скручивание волокон металла улучшает качество железных труб, котельных труб, ружейных стволов и т. п. Если желательно вытянуть трубу, не вызывая скручивания волокон, то отношение диаметров дисков и изделия должны быть одинаковы как при входе, так и при выходе последнего. Сильного скручивания волокон можно избежать реверсированием стана, т. е. путем одинаковой прокатки изделия в обоих направлениях.

При хорошо уравновешенных дисках им можно придавать большую скорость вращения, вследствие чего прокатка требует очень немного времени. Так как при этих процессах металл от начала до конца работы мало охлаждается и так как работа прокатки концентрируется на очень небольшом протяжении, то из больших болванок можно прокатывать тонкостенные трубы за один нагрев. Ожидают, что можно будет прокатывать такие изделия как толстостенные котельные трубы, стволы артиллерийских орудий, полые оси и валы и т. п.

Если оправка имеет не круглый, а иной профиль, то на ней можно изготавливать трубы с неравномерной толщиной стенок. Эти трубы можно сгибать как угодно, коленом, по окружности, или спирально.

Таким же образом прокатывают полые балки (рис. 811), трубчатые рельсы (рис. 812), полые траверсы, полые шатуны и т. п.

Если после горячей прокатки стальных или железных заготовок и труб с резьбой очень большого шага их прокатать в холодную, то упругость металла в продольном направлении значительно повышается.

Предельная толщина стенок тонкостенных труб зависит от скорости охлаждения их оправкой и дисками. Толщина стенок медных труб и труб из других ковких металлов может быть как угодно мала.

При валках с насечкой, шаг которой превышает шаг, необходимый для втягивания заготовки, материал сдвигается на окружности, не вытягивая центральной части заготовки. Вследствие этого получается труба со сплошным задним концом. Таким образом можно изготовлять трубы Фильда (Field); если же требуется обыкновенная открытая с обоих концов труба, то закрытый ее конец отрезают.

Изготовление коротких труб со сплошным дном, служащих для выделки артиллерийских снарядов, представляет специальную отрасль производства. Ясно, что для вытяжки таких заготовок не-

обходимо пользоваться оправками соответствующей формы, обеспечивающими точные размеры изделия.

Присоединяя к дискам стан-трио ушيرية кольца и изменяя оправку против самого узкого места нижних дисков, а не между всеми тремя дисками, этим станом можно пользоваться для протяжки раскаленных до-бела болванок в фасонную проволоку разных размеров. При установке фасонной оправки можно прокатывать в один пропуск проволоку любого профиля из раскаленных до-бела круглых болванок.

На универсальном стане с роликами (рис. 813) можно также превращать круглые болванки в плоские полосы. Для этого пользуются приемной оправкой, вращающейся вместе с заготовкой. Металл превращается в разрезанную по образующей трубу, которую остается только развернуть¹⁾, чтобы получить плоскую полосу¹⁾.

Прокатная оправка своим заостренным концом входит в боковую поверхность болванки таким образом, что под действием роликов DD болванка на линии XX принимает поперечное сечение, изображенное на рис. 814. Это сечение постепенно превращается в сечение, изображенное на рис. 815, соответствующее разрезу YY, а затем в сечение ZZ, изображенное на рис. 816. В результате получается разрезанная по длине или по спирали труба, которую разгибают в плоскую полосу дополнительной операцией, одновременно выравнивающей ее (прокатка между цилиндрическими валками). Другой способ заключается в том, что тонкостенную трубу прокатывают на косом или поперечном прокатном стане, разрезая одновременно на том же стане между двумя циркулярными ножами, или посредством других приспособлений, скорость вращения которых соответствует скорости вращения валков, например, посредством ножа, соединенного с оправкой. Непосредственная разрезка трубы производится несколькими способами, а именно:

1) Параллельно продольной оси (рис. 817). В этом случае трубу приходится раскрывать или по одной линии разреза А, или по не-

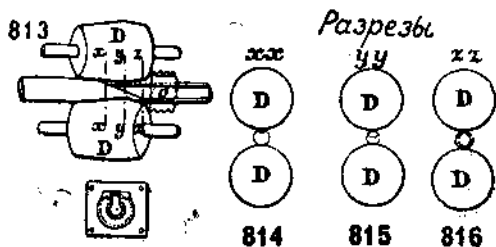


Рис. 813—816.

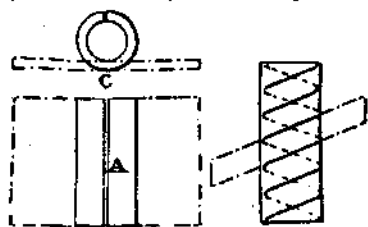


Рис. 817—818.

¹⁾ Патент 30 мая 1880 года.

скольким. Путем разрезки по нескольким линиям получаются узкие полосы.

2) По спирали. При такой разрезке линия разреза идет спирально вокруг продольной оси (рис. 818), отчего полоса получается уже и длиннее, нежели при разрезке по образующей. При этом способе можно обойтись без дополнительной прокатки между цилиндрическими валками. Чем ближе друг к другу линии разрезов, тем уже полосы. Таким образом возможна выделка прутьев плоского или квадратного сечения ¹⁾.

Разрезка и раскатка труб в полосы не сопровождается какой-либо потерей металла. Одна из поверхностей трубы, образующаяся из внутренних частей болванки, совершенно свободна от окалины и других недостатков. Для непосредственной прокатки в один нагрев плит или дисков, в болванке делают углубление посредством косой прокатки с оправкой или без нее. После этого заготовку надвигают на коническую оправку, отчего внутренность ее расширяется, внутренний диаметр ее увеличивается, а наружный диаметр одновременно уменьшается. Толщина стенки при этом уменьшается до тех пор, пока она не достигнет требуемой толщины плиты.

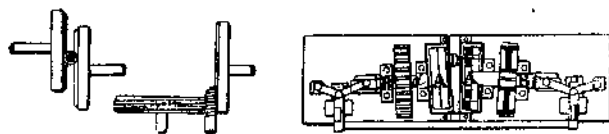


Рис. 819—821.

Для прокатки труб более пригодны диски параболического, нежели овального профиля, так как последние вызывают скручивание волокон до самого конца операции.

Одна из поверхностей получающихся таким способом дисков, образующаяся из внутренних частей металла болванки, совершенно свободна от окалины. Окалина всегда образуется на наружных поверхностях дисков, где, кроме того, остаются следы от нагрева и отпечатки вдавленной при проковке окалины.

Для накатки резьбы диски можно располагать параллельно, как показано на рис. 819, или перпендикулярно, как на рис. 820. В этом последнем случае спиральная резьба устраивается на окружности одного диска.

На рис. 821 изображен прокатный стан для накатки резьбы. На дисках укреплены винтами полные кольца AA' с винтовыми резьбами, соответствующими накатываемой резьбе.

Диски, монтированные на валах BB и вращающиеся в противоположных направлениях, составляют некоторый угол между собой. Валы можно передвигать в продольном направлении для установки дисков в зависимости от диаметра заготовки.

Продольное перемещение обоих валов производится связанными между собой рычагами.

Заготовка направляется втулкой d и подвергается воздействию инструментов, которые обкатывают ее и подают вперед по мере образования резьбы.

¹⁾ Такой способ изготовления полос или прутьев разрезкой трубы в горячую нельзя назвать остроумным. Эти изделия можно получить несравненно более простыми процессами. Служба оправки также не может быть продолжительной, и, кроме того, необходимо предварительно прокатывать тонкостенную трубу без всяких изъянов. Таким образом, все производственные работы, которые можно выполнять на таком стане, сводятся к устройству отверстия в коротких болванках, которые затем прокатывают на оправках на стане с шаговым передвижением материала, т.е. старинным способом прокатки, пригодным только для специальных коротких изделий.

Ось одного из дисков немного приподнята относительно оси другого. Шаг накатываемой резьбы зависит от этой разницы по высоте или эксцентриситета. Чем больше эксцентриситет, тем больше шаг резьбы. Шаг равен нулю, если геометрические оси валов находятся в одной плоскости. В этом случае резьбы дисков образуют на заготовке только кольцевые выступы и дорожки.

Наиболее интересные формы, которые можно получить геликоидальной прокаткой с вспомогательной оправкой или без нее, это полые формы тел вращения. Чтобы понять превращение цилиндрической сплошной заготовки в трубу, надо очень внимательно проследить за различными особенностями операции, за способом сдвига металла, за вызывающими этот сдвиг силами и относительным перемещением различных зон воздействия инструментов.

Для удачи операции требуется одновременно очень ковкий и вместе с тем однородный металл, обладающий высоким коэффициентом удлинения при разрыве. Мягкий, недостаточно текучий металл под действием прокатки разделится и растрескается, и, кроме того, сдвиг подобного металла по спирали невозможен.

Чтобы устроить в торце свинцового цилиндра углубление, ударами молотка надо сдвинуть металл на окружности цилиндра вдоль его оси к одному из торцов,



Рис. 822—824.

не касаясь его центральной части. При этом надо действовать легкими ударами, направляя их, насколько возможно, в направлении вытяжки. Таким образом легко удается образовать чашку (рис. 822), диаметр которой уменьшается по мере утолщения кольцевой стенки. В момент операции, изображенной на рис. 823, средняя часть заготовки еще не удлинялась и дно чашки еще соответствует первоначальной поверхности торца.

Продолжая наносить удары, можно не без труда образовать часть трубы со сравнительно небольшим внутренним диаметром. Это затруднение происходит вследствие того, что усилия направлены под недостаточно острым углом, отчего труба плохо вытягивается.

Для достижения лучшего результата необходимо поддерживать материал трубы оправкой, что позволит увеличить ее внутренний и наружный диаметры. Таким образом можно получить зачаток (захват) трубы, не вызывая расширения центральной части.

Однако, если допустить, что металл захвата обладает большей вязкостью, нежели сплошной металл, прилегающий к трубчатой части, и если предположить, что эта последняя подвергается непосредственному тянущему усилию, то, так как удлинение начнется в захвате (рис. 824), возникающие наклонные усилия стремятся развести центральные волокна металла. Если металл текучий, то может произойти кольцевое, внутреннее и наружное сжатие, вследствие чего металл постепенно растечется, образуя трубу путем непосредственной вытяжки.

Если к этому эффекту вытяжки присоединить сильную поперечную прокатку, то, как мы уже видели раньше, произойдет центральный разрыв металла. Этому разрыву способствует внутреннее сжатие, отчего волокна металла будут отделяться друг от друга гораздо легче. Подвергая волокна постепенному скручиванию, вытяжка и кольцевое растекание металла еще более усиливаются. Растеканию металла особенно способствует быстрое вращательное движение,

вызывающее сильное поверхностное перемещение частиц металла и центробежные силы. Одних этих центробежных сил достаточно, чтобы вызвать растекание удерживаемого или направляемого наружной оболочкой пластичного материала под действием инструмента, производящего боковое давление, даже, например, под давлением падающего 1).

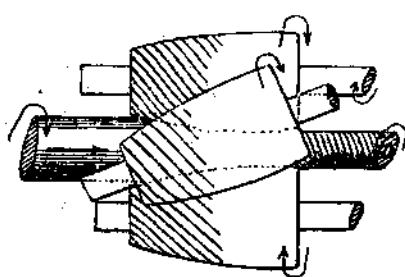


Рис. 825.

Кроме того, при этом происходит явление аналогичное с тем, которое имеет место при коловратном истечении жидкости из отверстия во дне сосуда. Поверхность жидкости принимает форму воронки, состоящей из концентрических слоев, скорости которых постепенно возрастают от центра к окружности. Это явление заметил Треска, наблюдая истечение свинца. Подобное истечение наблюдается из трубки стеклодува, когда он выдувает заготовку стеклянного изделия.

Эти условия при винтовой прокатке достигаются путем применения стана-трио с гиперболическими роликами, из которых два с осями, параллельными оси изделия, а один с наклонной (рис. 825).

В начале действие прокатных роликов, одинаково с действием ковки ударами или с действием медленного наклонного бокового давления; металл сдвигается на поверхности изделия (рис. 826), увлекаясь наклонными поверхностями ролика с возрастающими диаметрами. Эти ролики уменьшают диаметр изделия, получаемого при прокатке роликами с параллельными осями.

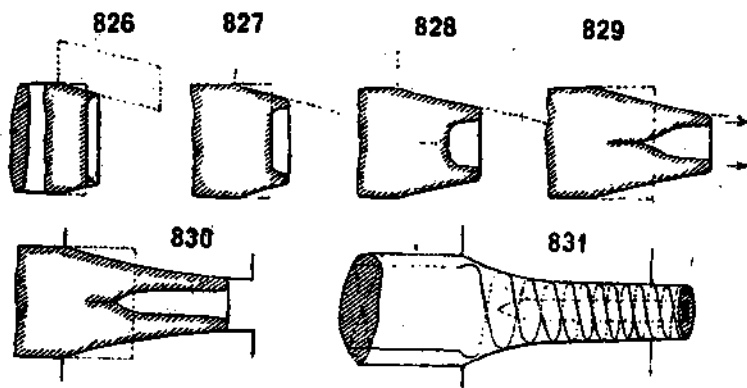


Рис. 826—831.

Уменьшение диаметра изделия требует давления, способного вызвать достаточное зацепление. Последнее усиливается винтовыми насечками на поверхностях роликов.

Кроме того, возрастание скорости, происходящее вследствие непрерывного увеличения диаметров роликов и уменьшения диаметров изделия, производит в первых зонах прокатки постепенную поперечную прокатку и вытяжку. Таким образом, между последовательными зонами

1) Пользуясь оконной замазкой или глиной на токарном станке, можно получить все виды полых форм, перемещая материал простым внутренним или наружным давлением. Таким образом можно убедиться, что при материале обладающем большим сопротивлением, для достижения того же результата нужно лишь приложить большие усилия и применить такие же скорости вращения.

развиваются крутящие усилия, вытягивающие в спирали все волокна металла как внутренние, так и наружные. Мы допускаем, что при этом не происходит скольжений и относительного буксования между различными точками, соприкасающимися с роликами. Это условие обязательное, так как в противном случае получилась бы простая поперечная прокатка с переменными скоростями.

Так как при прокатке происходит уменьшение наружного диаметра заготовки, то вместе с тем происходит увеличение толщины стенок захвата, который развивается, как показано на рис. 827—828. В эти моменты поперечная прокатка вызывает центральный разрыв металла в одном или в нескольких направлениях. Так как стенка чашки охладилась, вследствие контакта с инструментами, и сопротивление металла возросло, то усилия вытяжки вызывают главную деформацию на дне чашки, которая сохранила еще свою высокую температуру. Свечение этого дна позволяет видеть гладкую внутренность трубы. Так как скорость вращения весьма значительна, то центробежные силы способствуют расхождению центральных волокон и вместе с тем вызывают дополнительное давление на роликах, благоприятствующее сцеплению их с изделием. В этом случае происходит вытяжка, сопровождающаяся увлечением центральных волокон металла и относительным уменьшением сечения, при чем устанавливается постоянная скорость операции (рис. 830—831).

Если бы операция происходила с небольшой скоростью и если бы металл обладал неизменными свойствами, подобно свинцу в холодном состоянии, можно было бы получать только трубы с небольшим внутренним диаметром и довольно значительной толщиной стенок. При этом вытяжка распространялась бы на сердечник заготовки и отсутствовала бы сила, вызывающая раздувание последней и образующая внутренние пустоты, кроме тех, которые получаются при продолжительной поперечной прокатке и которые нельзя сравнивать с получающимися при высокой температуре в трубах из мягкой стали.

Дополнительная сила, которую мы считаем необходимой, в тех случаях когда не пользуются внутренней оправкой может развиваться ¹⁾ только при скорости достаточной, чтобы отчасти уравновесить или преодолеть молекулярное сопротивление металла в радиальных направлениях.

Кроме того, этот процесс удается в специальных опытах только при увеличении скорости вращения и быстроты прокатки, так как надо сохранить высокую температуру, необходимую при обработке литого железа и мягкой стали.

Операция продолжается менее одной минуты и требует развития очень большой энергии. Ролики для прокатки труб делают от 300

¹⁾ Теория сопротивления центробежным усилиям дает, что напряжение в центре сплошного диска с наружным радиусом r равняется $\frac{132 \omega^2 r^2}{32g}$. Таким образом напряжение в цилиндрической болванке диаметром 100 мм, делающей 3 000 оборотов в минуту, будет:

$$R = \frac{13 \times 7\,700}{32 \times 9,8} \left(\frac{3,14 \times 3\,000}{30} \right)^2 \cdot 0,050^2 = 70\,000 \text{ кг/м}^2 = 00,7 \text{ кг/мм}^2.$$

Этого, например, недостаточно для раздвижения волокон при белом калении. Но если только в середине заготовки от поперечной прокатки образовалась пустота, то напряжение в центре возрастает приблизительно втрое, т. е. равно $0,2 \text{ кг/мм}^2$. Такого напряжения вполне достаточно, чтобы преодолеть сопротивление железа или стали в состоянии близком к тестовому.

до 600 оборотов в минуту. Заготовка при выходе из роликов вращается со скоростью на окружности, достигающей 30 м в секунду, что при диаметре трубы в 0,10 метра соответствует приблизительно 6000 оборотам в минуту.

Чтобы стальную болванку превратить в трубу длиной от 3 до 4 метров и диаметром в 100 мм, достаточно 30 секунд. Потребная энергия равняется от 8000 до 10000 лш. сил в секунду, в зависимости от диаметра, для чего требуются электромоторы мощностью в 2000 сил с очень тяжелыми маховиками, весом в 60 и более тонн, со скоростью на окружности 100 метров в 1 секунду.

Прокатный стан Маннесмана обычно состоит из обжимного стана для прокатки начерно, превращающего массивные болванки в короткие трубы, и чистового стана с вращающимися дисками, расширяющими и вытягивающими трубы на оправке.

Принимая во внимание простоту конструкции геликоидального стана и разнообразие изготовленных на нем изделий, он вполне заслуживает названия универсального стана.

Тем не менее надо заметить, что большинство вспомогательных процессов, о которых с такой уверенностью говорит сам Маннесман в своих многочисленных патентах, относится к области фантазии. Эти патенты упорно эксплуатируются с коммерческой точки зрения только для того, чтобы оправдать несколько миллионов, непроизводительно затраченных на эти безуспешные попытки.

Делались предложения заменить прокатные ролики призматическими брусками, пересекающимися под углом, который можно изменять от 0° до 90°. Эти бруски, захватывающие болванку один сверху, а другой снизу, и имеющие чрезвычайно быстрое возвратно-поступательное прямолинейное движение, вместе с тем чрезвычайно быстро вращают заготовку, превращаемую в трубу. Эти бруски направляются соответствующим образом, и заготовка удерживается от всякого продольного перемещения. Конструктивное выполнение механизмов для этого процесса носит случайный характер¹⁾.

В настоящее время процессы прокатки применяются для выделки изделий призматической или круглой формы и ко всякого рода сплошным и полым профилям.

Эти процессы, несомненно, дают наибольшие коэффициенты полезного действия и позволяют быстро и дешево превращать заготовки в готовые изделия, вполне удовлетворяющие требованиям современной промышленности.

Прокатка особенно пригодна для изготовления проволок, лент, полос, тонких листов небольшого сечения и большой длины.

Прокатку не может заменить ни один процесс, вследствие ее быстроты и равномерности выделяемых изделий.

Прокаткой также успешно пользуются при изготовлении толстых изделий толщиной вплоть до 1 метра и более, как например, броневых плит. Последние требуют прокатных станов, мощность которых можно сравнивать с мощностью самых сильных прессов и молотов.

¹⁾ Процесс патентован 17 декабря 1892 г. Вюстенгофером и Сюрманом.

ГЛАВА V.

Волочение или протяжка.

При непосредственном растяжении изделия его продольные размеры увеличиваются, а поперечные уменьшаются; происходящее при этом удлинение изделия, имеет часто местный характер.

Явление растяжения является только дополнительным процессом протяжки или волочения в собственном смысле этого слова. Неравномерное удлинение изделия начинается лишь с того момента, как достигнуто максимальное предельное тянущее усилие, которое очень трудно урегулировать соответственно местному уменьшению сечения. По мере растяжения, малейшие недостатки металла, в особенности поперечные трещины, быстро возрастают и вызывают разрыв. Так как вследствие этих обстоятельств процесс непосредственной вытяжки более затруднителен, то для уменьшения сечения изделия предпочитают пользоваться поперечными давлениями.

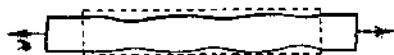


Рис. 832.

Правка изделий растяжением.

Холодной растяжкой успешно пользуются для выпрямления свернутой в бунты проволоки и железных прутьев небольшого сечения.

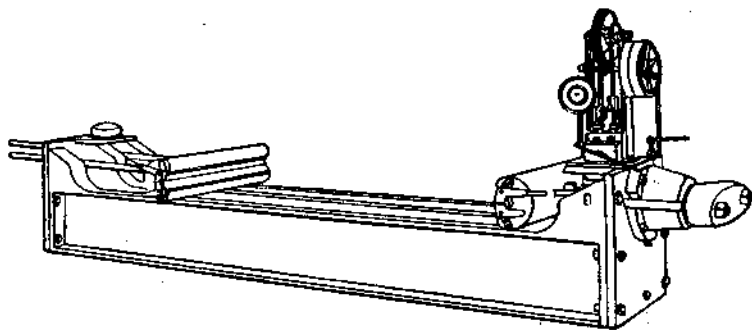


Рис. 833.

Для этого достаточно только захватить изделие за его концы и подвергнуть продольному усилию, близкому к пределу упругости и вызывающему лишь незначительное удлинение. Этим процессом также пользуются для выправки тонких листов на специальной машине.

На машине, изображенной на рис. 833—835¹⁾, обыкновенно выпрямляют около двенадцати листов за раз. Пакет захватывают с про-

¹⁾ Engineering 2 окт. 1885 г. Завод Бриттон в Кливленде, Огайо.

тивоположных концов сильными тисками. Листы растягивают по длине, так как в этом направлении требуется меньшее усилие, нежели для растяжки пакета по ширине.

Одни из тисков соединены со станиной двумя штангами, как то видно на рис. 833, позволяющими устанавливать их в зависимости от длины листов.

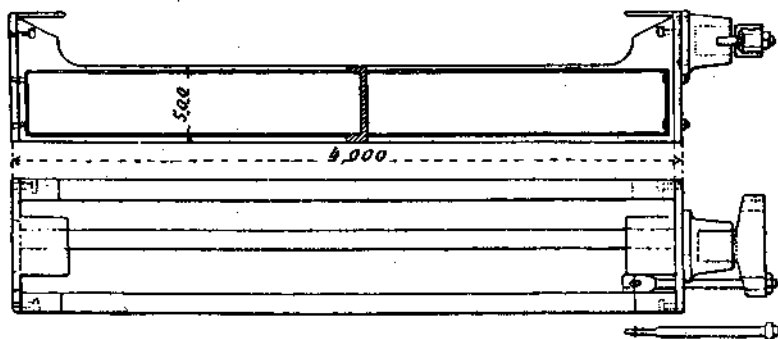


Рис. 834.

Вторые тиски соединены с поршнем гидравлического пресса, приводимого в действие двумя нагнетательными насосами с механическим приводом.

Усилие должно быть достаточно, чтобы вызвать удлинение ровных, т.е. не вздутых частей листа. Частицы металла вздутых частей листа увлекаются частицами растягиваемых частей, вследствие чего листы выравниваются.



Рис. 835.

Эта машина довольно широко распространена в Америке, где ею пользуются для правки тонких стальных, железных, медных, латунных и цинковых листов.

Чтобы рассчитать усилие, необходимое для растяжения каждого из этих металлов, в уравнение равновесия $P=RS$ (где R сопротивление, а S сечение) надо подставить значение R , соответствующее получившемуся удлинению.

Этот процесс обладает тем недостатком, что при этом относительное удлинение металла несколько уменьшается.

Продольными усилиями иногда пользуются для местного небольшого удлинения таких изделий, как, например, колесных бандажей, ободов маховиков, различные части которых подвергают растяжению на машине, сходной по принципу конструкции с высадочной машиной.

Растяжка и сжатие поперечным давлением.

Вытяжка изделия поперечными давлениями посредством штампов (рис. 836) дает удовлетворительные результаты только при обработке крупных отливок и поковок. Однако, затруднительность соединить в одно целое механизмы, действующие растяжением и давлениями, до сих пор заставляла отказываться от этого процесса, требующего больших усилий, действующих непосредственно в направлении наибольшей потребной деформации. Далее, во втором томе нашего труда, мы встретимся с этим процессом при описании производства пустотелых осей.

Для приложения процесса к небольшим изделиям иногда пользуются машиной, изображенной на рис. 837—838¹⁾.

Изделие захватывают клещами *CC*, расположенными на уровне наковальни *J*; клещи раздвигают двумя рычагами *L*, приводимыми в действие винтом *F* с рукояткой *H* на конце.

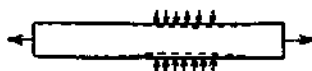


Рис. 836.

Захваченное клещами изделие подвергается продольному растягивающему усилию, которое можно регулировать по желанию. При растягивании раскаленного до-красна изделия на него действуют одновременно и поперечными ударами молотка.

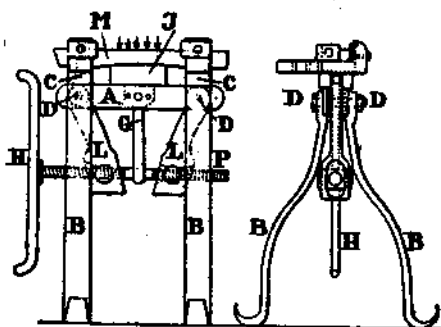


Рис. 837—838.

Протяжка через волоочильные доски.

Сочетание продольных растягивающих усилий и местных давлений применяется при протяжке или волочении металлической проволоки.

Протяжка через волоочильные доски, так называемых волоочильных досок. Волоочильное отверстие или очко уменьшает и калибрует поперечное сечение изделия, придавая ему форму, соответствующую сечению этого отверстия (рис. 838—839).

Для протяжки фасонных калиброванных полос отверстие волоочильной доски придают соответствующую форму.

Этот процесс применим ко всем ковким в холодном и горячем состоянии металлам.

Уменьшение сечения изделия производится путем повторных многочисленных протяжек через волоочильные доски с отверстиями постепенно уменьшающихся сечений. Если процесс применяют к трубам, которые должны иметь калиброванное отверстие, то пропуск через очко производят на оправке, поддерживающей металл, в то время как очко уменьшает толщину стенки.

Поперечное давление, скомбинированное с давлением, действующим в направлении оси изделия, применяется также при вытяжке труб

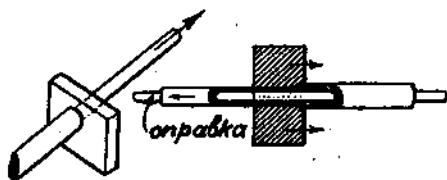


Рис. 839—840.

¹⁾ Первая модель машины завода Sculfort, Malliar et Meurice. Патент 21 июня 1875 года.

большого и среднего размера, а также сосудов с одним открытым концом.

Заготовке *E* (рис. 841) придают посредством пуансона или отливкой чашко-образную форму. Заготовку надевают на конец скалки *P* пресса, служащей внутренней оправкой, которая проталкивает ее через волоचильное отверстие *M*, диаметр которого меньше наружного диаметра заготовки. Таким образом заготовка, уменьшаясь по диаметру, увеличивается по длине, т.е. вытягивается пропорционально уменьшению своего сечения. В тех случаях когда это возможно, в стенке, образующей дно заготовки, устраивают небольшое центральное отверстие, через которое проходит выступ на конце оправки *P*, удерживающий заготовку при первых протяжках.

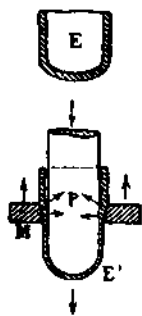


Рис. 841.

Волочение на оправке производится постепенно, несколькими последовательными пропусками через отверстия с уменьшающимися диаметрами, а иногда в один пропуск. Волочение применимо при изготовлении труб, а также круглых и овальных полос. При протяжке фасонных полос работу ведут постепенно, как для того, чтобы уменьшить первоначальное сечение, так и для того, чтобы вызвать значительную деформацию профиля, не изменяя сколько-нибудь значительно сечения изделия. Так, например, изготовляют фасонные полосы небольшой толщины.

Скорость волочения сильно колеблется. Для крупных изделий она составляет всего лишь несколько сантиметров в минуту, тогда как при волочении некоторых сортов проволоки она достигает нескольких метров в секунду. Прут диаметром 5 мм из мягкой стали протягивается со скоростью 2 метров в секунду, тогда как скорость протяжки такого же круглого железа диаметром 100 мм равняется всего лишь 40 мм в секунду. При протяжке все трущиеся части необходимо хорошо смазывать. Медная или латунная труба, смоченная водой, протягивается через волочильное очко только с большим трудом. После отжига, сопровождающегося закалкой в воде, трубу необходимо тщательно просушить.

Одновременные вытяжка и прокатка.

В некоторых специальных случаях непрерывной прокатки (рис. 842), когда изделие движется в одном и том же направлении, проходя последовательно через несколько прокатных станов, протяжку и прокатку комбинируют вместе. Скорость прохода изделия через два стана можно урегулировать таким образом, чтобы получить определенное усилие, вызывающее требуемое удлинение.

Такого рода вытяжка не может быть значительной, так как в противном случае потребовалось бы большое усилие, которое вызвало бы скольжение между валками и изделием. При прокатке в нескольких станах этим способом не пользуются, а обычно стремятся достигнуть такого тянущего усилия, при котором ось изделия сохраняла бы свою прямолинейность.

Однако, если валки вращаются вхолостую, т.е. не связаны между собой и приводным механизмом шестернями, а тянущее усилие *P* при-

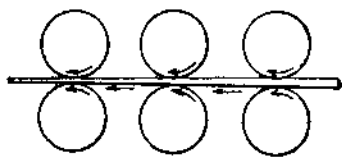


Рис. 842.

лагается к самому изделию, то процесс этот оказывается выгоднее процесса протяжки через волочильные доски. В последнем процессе между изделием и волочильной доской всегда развивается сильное трение, тогда как развивающиеся трения между изделием и валком, а также трение на шейках валков менее значительны.

Этим процессом следовало бы всегда пользоваться при обжиме, а протяжку начисто производить через волочильную доску.

Волочильные станы.

Процессом протяжки через волочильные доски уже давным-давно пользуются при производстве проволоки, прутьев и небольших полос простого или фасонного сечения. Применяемые при этом машины называются волочильными станами.

На рис. 843 ¹⁾ изображен старинный проволочно-волочильный станок. Проволочный бунт надевался на холостое мотовило *D*. Волочильная доска *F* упиралась в скобу и упор. Протягиваемая проволока

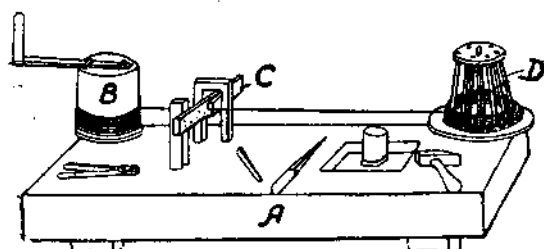


Рис. 843.

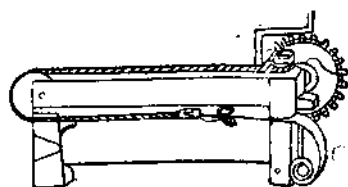


Рис. 844.

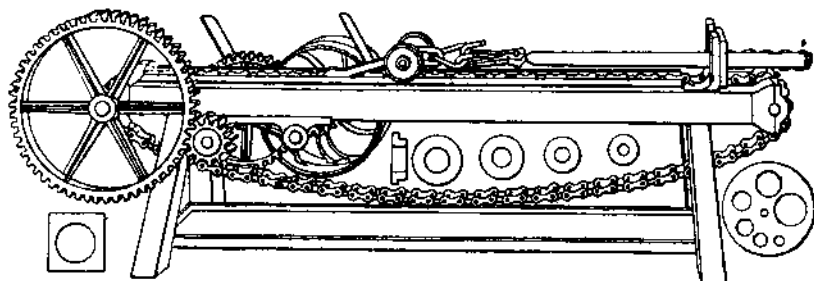
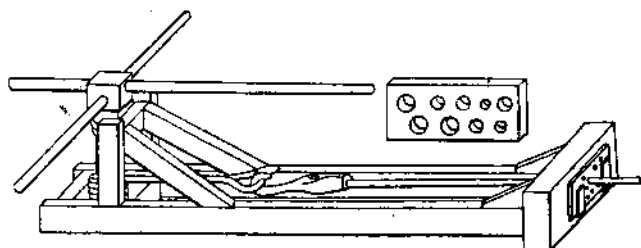


Рис. 845—846.

наматывается на барабан *B*, вращаемый рукояткой. Рабочий при помощи молотка утоньшал на гвоздильне, или напильником конец проволоки, пропускал его через очко волочильной доски, а затем вытягивал небольшими клещами настолько, чтобы его можно было прикрепить к барабану *B*.

¹⁾ Рисунки заимствованы из Энциклопедии.

Надо полагать, что применение волочения к производству тонких полос было вызвано появлением рессор, для которых потребовались более точные по размерам полосы, нежели те, которые можно получить

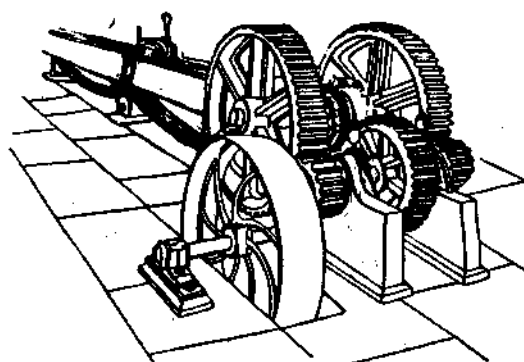


Рис. 847.

посредством ковки или прокатки. В XV веке Леонардо да-Винчи изобрел волочильный станок, изображенный на рис. 844. Металлическая полоса захватывалась клещами и протягивалась через прорезь веревкой, огибавшей шкив, укрепленный к станине, тогда как на противоположном конце ее помещался приводный механизм. Конец веревки наматывался на барабан, приводимый во вращение шестернями посредством рукоятки ¹⁾. Такие полосы, как, например, служащие для изготовления бруско-оконных шпингалетов, протягивались на волочильных станках посредством ворота ²⁾, приводимого в действие усилиями нескольких рабочих. Медные или латунные трубы в котельных мастерских вытягивались машиной, изображенной на рис. 846. В крупных современных мастерских пользуются мощными волочильными станами, как, например, изображенным на рис. 847, развивающими усилие в 50 и более тонн. Для изготовления карнизных фасонных профилей из тонких полос пользуются машиной, изображенной на рис. 848.

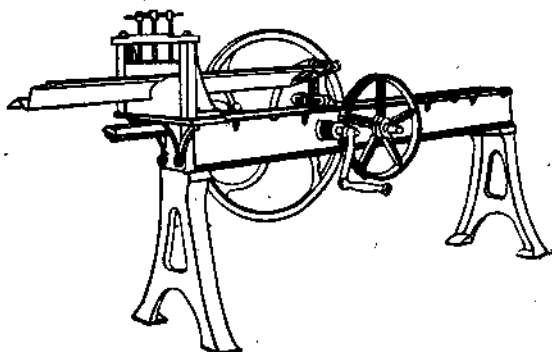


Рис. 848.

Давление и работа волочения.

Так как волочение проволоки, круглого железа и труб представляет собой сравнительно простую операцию, то можно со значительной точностью рассчитать давление, развивающееся в месте соприкосновения изделия и инструмента, тянущее усилие и потребную энергию.

Очку (рис. 849) обычно придают сечение с закругленными краями со стороны поступления изделия. Отверстие у выходного своего конца делается цилиндрическим и редко коническим, во избежание сильного трения, развивающегося на конической поверхности.

Тянущее усилие P_m уравнивает реакции или нормальные давления, действующие на инструмент, и происходящее от этих давлений трение.

¹⁾ Engineering 5 марта 1875 г.

²⁾ Рисунки заимствованы из Энциклопедии.

Реакции в цилиндрической части отверстия вызываются лишь упругостью металла. Так как они направлены нормально к оси, то они не имеют продольных составляющих и потому вызывают только трение. Эти упругие реакции отчасти уравниваются силой, растягивающей изделие и вызывающей уменьшение его диаметра, а при работе вгорячую также силами сокращения металла вследствие охлаждения.

Так как все реакции симметричны относительно оси изделия и отверстия, то они дают равнодействующую P' , направленную по оси.

Рассмотрим элементарную реакцию $p'd\omega$, приложенную к точке M дуги AB поверхности соприкосновения. Допустим, что очко движется таким образом, что точка M пришла в точку M' , а точка B в точку B' . Проекция этих перемещений на направления, нормальные дуге, будут пропорциональны отношениям реакций в каждой данной точке к постоянной величине, значением которой можно пренебречь¹⁾. Таким образом для точки M' , реакция $p'd\omega$ пропорциональна значению MD , а если $p_1 d\omega$ представляет реакцию в точке B , то можно написать, что:

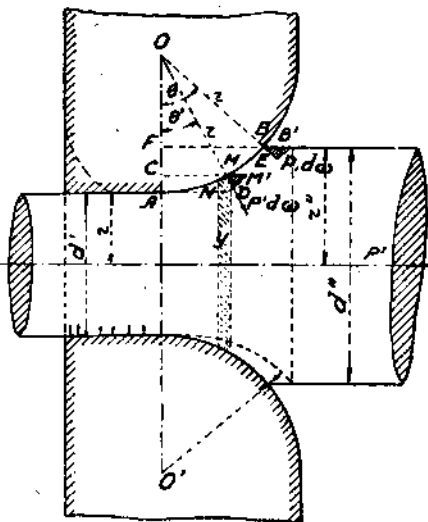


Рис. 849.

$$\frac{p' d\omega}{p_1 d\omega} = \frac{MD}{BE}.$$

Однако, так как:

$$\frac{MD}{MC} = \frac{MM'}{OM}$$

и

$$\frac{BE}{BF} = \frac{BB'}{OB} = \frac{MM'}{OM},$$

то:

$$\frac{MD}{MC} = \frac{BE}{BF},$$

а также:

$$\frac{MD}{BE} = \frac{MC}{BF} = \frac{\sin \theta'}{\sin \theta} = \frac{p'}{p_1}.$$

Это значит, что реакции пропорциональны синусам углов θ' и θ .

Если эти углы невелики, то можно допустить, что:

$$\frac{p'}{p_1} = \frac{AM}{AB}.$$

Прежде всего надо рассчитать реакции как функции данных величин, а именно r — радиуса закругления отверстия, r' — минимального

¹⁾ Значение этой постоянной соответствует реакции, происходящей от упругости металла. Этого значения достигают реакции, действующие на цилиндрическую часть вогнутого отверстия.

радиуса отверстия, r' — начального радиуса изделия, соответствующего углу θ дуги касания.

Рассмотрим коническую поверхность, соответствующую элементу MN дуги касания со средним радиусом y :

$$ds = 2\pi y \cdot MN = 2\pi (r' + r - r \cos \theta') r d\theta'.$$

Давление на единицу рассматриваемой поверхности равняется:

$$p' = \frac{p_1 \sin \theta'}{\sin \theta} = p \sin \theta',$$

где:

$$p = \frac{p_1}{\sin \theta},$$

откуда:

$$p' = p \sin \theta' \dots \dots \dots (1)$$

давления на ds будут равны:

$$p \sin \theta' ds = 2\pi p (r' + r - r \cos \theta') r \sin \theta' d\theta'$$

или:

$$p \sin \theta' ds = 2\pi r^2 p (1 - \cos \theta') \sin \theta' d\theta' + 2\pi r r' p \sin \theta' d\theta' \dots \dots (2)$$

Полное давление P представляет собой сумму элементарных давлений в пределах от 0 до θ и равняется:

$$P = 2\pi r^2 p \int_0^\theta (1 - \cos \theta') \sin \theta' d\theta' + 2\pi r r' p \int_0^\theta \sin \theta' d\theta',$$

$$P = (2\pi r^2 p + 2\pi r r' p) \int_0^\theta \sin \theta' d\theta' - 2\pi r^2 p \int_0^\theta \cos \theta' \sin \theta' d\theta',$$

$$P = 2\pi r p (r + r') \int_0^\theta \sin \theta' d\theta' - 2\pi r^2 p \int_0^\theta \cos \theta' \sin \theta' d\theta'.$$

Так как:

$$\int_0^\theta \sin \theta' d\theta' = (-\cos \theta')_0^\theta = -\cos \theta - (-1) = 1 - \cos \theta = 2 \sin^2 \frac{\theta}{2}$$

и

$$\int_0^\theta \cos \theta' \sin \theta' d\theta' = \frac{\sin^2 \theta}{2},$$

то отсюда вытекает, что:

$$P = 2\pi r p (r + r') (1 - \cos \theta) - \pi r^2 p \sin^2 \theta,$$

$$P = 2\pi r p \left[(r + r') 2 \sin^2 \frac{\theta}{2} - \frac{1}{2} r \sin^2 \theta \right],$$

$$P = 2\pi r p \left[2(r + r') \sin^2 \frac{\theta}{2} - \frac{4r \cos^2 \frac{\theta}{2} \sin^2 \frac{\theta}{2}}{2} \right],$$

$$P = 4\pi r p \sin^2 \frac{\theta}{2} \left[(r + r') - r \cos^2 \frac{\theta}{2} \right],$$

$$P = 4\pi r p \sin^2 \frac{\theta}{2} \left[r \left(1 - \cos^2 \frac{\theta}{2} \right) + r' \right],$$

$$P = 4\pi r p \sin^2 \frac{\theta}{2} \left(r \sin^2 \frac{\theta}{2} + r' \right) \dots \dots \dots (3)$$

Значение давления P может быть выражено как функция от уменьшения радиуса $r \rightarrow r'$:

$$P = 2\pi p (r + r') r (1 - \cos \theta) - \pi r^2 p \sin^2 \theta,$$

$$P = 2\pi p (r + r') (r'' - r') - \pi r^2 p \sin^2 \theta,$$

$$P = 2\pi p \left[(r + r') (r'' - r') - \frac{1}{2} r^2 \sin^2 \theta \right] \dots \dots \dots (4)$$

Так как (см. формулу 1):

$$p = \frac{p_1}{\sin \theta},$$

то получаем следующее значение P :

$$P = \frac{2\pi p_1}{\sin \theta} \left[(r + r') (r'' - r') - \frac{1}{2} r^2 \sin^2 \theta \right].$$

Эти уравнения показывают, что при одинаковом уменьшении диаметра полное давление P тем больше, чем больше радиус закругления (слагаемое $\frac{1}{2} r^2 \sin^2 \theta$ сравнительно мало); то же самое справедливо и для валков прокатных станов.

Полное давление также прямо пропорционально элементарному давлению p , т.е. элементарному сопротивлению материала.

Ясно также, что давление P зависит от диаметра $d' = 2r'$ и от разности диаметров $d'' - d' = 2r'' - 2r'$.

Проекция давлений на направление волочения (сила волочения).

Давления, равнодействующая которых P направлена под углом к оси волочильного отверстия, вызывают сопротивление волочению, равное сумме проекций P' на эту ось. Эту сумму необходимо рассчитать и ввести в уравнение равновесия.

Обратимся снова к элементарной поверхности касания конического отрезка, соответствующего дуге MN , и помножим действующие на эту поверхность элементарные давления на $\sin \theta'$.

Сумма давлений на элементарную поверхность равняется

$$2\pi r^2 p (1 - \cos \theta') \sin \theta' \cdot d\theta' + 2\pi r r' p \sin \theta' \cdot d\theta'.$$

Проекция этой суммы давлений на ось волочения будет:

$$2\pi r^2 p (1 - \cos \theta') \sin^2 \theta' \cdot d\theta' + 2\pi r r' p \sin^2 \theta' \cdot d\theta'.$$

Чтобы получить значение суммы проекций P' , необходимо сложить все элементарные проекции в пределах от 0 до θ .

Таким образом:

$$P' = 2\pi r^2 p \int_0^{\theta} (1 - \cos \theta') \sin^2 \theta' \cdot d\theta' + 2\pi r r' p \int_0^{\theta} \sin^2 \theta' \cdot d\theta',$$

$$P' = (2\pi r^2 p + 2\pi r r' p) \int_0^{\theta} \sin^2 \theta' \cdot d\theta' - 2\pi r^2 p \int_0^{\theta} \sin^2 \theta' \cos \theta' \cdot d\theta',$$

$$P' = 2\pi r p (r + r') \int_0^{\theta} \sin^2 \theta' \cdot d\theta' - 2\pi r^2 p \int_0^{\theta} \sin^2 \theta' \cos \theta' \cdot d\theta'.$$

Значения входящих в выражение P' интегралов таковы:

$$\int_0^{\theta} \sin^2 \theta' \cdot d\theta' = \frac{\theta}{2} - \frac{\sin 2\theta}{4} \quad ^1),$$

$$\int_0^{\theta} \sin^2 \theta' \cos \theta' \cdot d\theta' = \frac{\sin^3 \theta}{3} \quad ^2).$$

Подставляя значения этих интегралов в выражение P' , получим:

$$P' = 2\pi r p (r + r') \left(\frac{\theta}{2} - \frac{\sin 2\theta}{4} \right) - 2\pi r^2 p \frac{\sin^3 \theta}{3},$$

$$P' = 2\pi r p \left[(r + r') \left(\frac{\theta}{2} - \frac{\sin 2\theta}{4} \right) - \frac{r \sin^3 \theta}{3} \right],$$

$$P' = \pi r p \left[(r + r') (\theta - \sin \theta \cos \theta) - \frac{2}{3} r \sin^3 \theta \right] \dots \dots (5)$$

Заменяя $r + r'$ его значением как функции диаметров d' и d'' изделия, равным:

$$\begin{aligned} 1) \quad \int_0^{\theta} \sin^2 \theta' \cdot d\theta' &= \frac{1}{2} \int_0^{\theta} (1 - \cos 2\theta') d\theta' = \frac{1}{2} \int_0^{\theta} d\theta' - \frac{1}{2} \int_0^{\theta} \cos 2\theta' \cdot d\theta' = \\ &= \frac{1}{2} \theta - \frac{1}{4} \sin 2\theta = \frac{1}{4} (2\theta - \sin 2\theta). \end{aligned}$$

2) Интегрируя по частям и принимая, что:

$$u = \sin^2 \theta \text{ и } dv = \cos \theta' d\theta',$$

получим, —

$$\int u \cdot dv = uv - \int v \cdot du$$

или

$$\int \sin^2 \theta' \cos \theta' \cdot d\theta' = \sin^3 \theta' - \int \sin \theta' 2 \sin \theta' \cos \theta' \cdot d\theta'.$$

откуда:

$$3 \int \sin^2 \theta' \cos \theta' \cdot d\theta' = \sin^3 \theta'$$

или —

$$\int \sin^2 \theta' \cos \theta' \cdot d\theta' = \frac{\sin^3 \theta'}{3}.$$

$$(r + r') = r \cos \theta + r'' = r \cos \theta + \frac{d'' - d'}{2} + \frac{d'}{2},$$

получим далее, что:

$$P' = 2\pi r p \left[\left(\frac{d'' - d'}{2} + \frac{d'}{2} + r \cos \theta \right) \left(\frac{\theta}{2} - \frac{\sin 2\theta}{4} \right) - \frac{r \sin^3 \theta}{3} \right],$$

$$P' = \pi r p \left[\left((d'' - d') + d' + 2r \cos \theta \right) \left(\frac{\theta}{2} - \frac{\sin 2\theta}{4} \right) - \frac{r \sin^3 \theta}{3} \right].$$

При известном значении давления $p_1 = p \sin \theta$ зависимость принимает следующий вид:

$$P' = \frac{\pi r p_1}{\sin \theta} \left[\left((d'' - d') + (d' + 2r \cos \theta) \right) \left(\frac{\theta}{2} - \frac{\sin 2\theta}{4} \right) - \frac{r \sin^3 \theta}{3} \right],$$

$$P' = \frac{\pi r p_1}{\sin \theta} \left[\left((d'' - d') + d' + 2r \cos \theta \right) \left(\frac{\theta}{2} - \frac{\sin \theta \cos \theta}{2} \right) - \frac{r \sin^3 \theta}{3} \right].$$

Трение на закруглении волоочильного отверстия.

Трение F на поверхностях соприкосновения волоочильного отверстия рассчитывают, помножая значение P (форм. 4) на коэффициент трения f . Таким образом имеем:

$$F = Pf = 2\pi p f \left[(r + r') (r'' - r') - \frac{1}{2} r^2 \sin^2 \theta \right]$$

или же:

$$F = Pf = \frac{2\pi p f}{\sin \theta} \left[(r + r') (r'' - r') - \frac{1}{2} r^2 \sin^2 \theta \right].$$

Это полное трение распределяется совершенно так же, как и реакции на поверхности касания и в данном случае, чтобы получить проекции трений на ось отверстия, надо рассмотреть те из них, которые действуют на элементарную поверхность, соответствующую дуге MN .

Так как величины этих давлений на элементарную поверхность равны (см. форм. 2)

$$2\pi r^2 p (1 - \cos \theta') \sin \theta' \cdot d\theta' + 2\pi r r' p \sin \theta' \cdot d\theta',$$

то трения, вызываемые этими давлениями, будут:

$$2\pi r^2 p f (1 - \cos \theta') \sin \theta' \cdot d\theta' + 2\pi r r' p f \sin \theta' \cdot d\theta'.$$

Проекция этого трения на ось отверстия будут равняться:

$$2\pi r^2 p f \cos \theta' (1 - \cos \theta') \sin \theta' \cdot d\theta' + 2\pi r r' p f \cos \theta' \sin \theta' \cdot d\theta'.$$

Проекция равнодействующего трения будет равняться сумме предыдущих проекций в пределах от 0 до θ , а именно:

$$F' = 2\pi r^2 p f \int_0^{\theta} (1 - \cos \theta') \sin \theta' \cos \theta' \cdot d\theta' + 2\pi r r' p f \int_0^{\theta} \sin \theta' \cos \theta' \cdot d\theta',$$

$$F' = 2\pi r p f (r + r') \int_0^{\theta} \sin \theta' \cos \theta' \cdot d\theta' - 2\pi r^2 p f \int_0^{\theta} \cos^2 \theta' \sin \theta' \cdot d\theta'.$$

Входящие в формулу интегралы таковы:

$$\int_0^{\theta} \sin \theta' \cos \theta' \cdot d\theta' = \frac{\sin^2 \theta}{2}$$

и

$$\int_0^{\theta} \cos^3 \theta' \sin \theta' \cdot d\theta' = \left(-\frac{\cos^3 \theta}{3} \right)_0^{\theta} = \frac{1 - \cos^3 \theta}{3}.$$

Таким образом имеем, что:

$$F' = 2\pi r p f (r + r') \frac{\sin^2 \theta}{2} - 2\pi r^2 p f \left(\frac{1 - \cos^3 \theta}{3} \right),$$

$$F' = \pi r p f (r + r') \sin^2 \theta + \frac{2}{3} \pi r^2 p f \cos^3 \theta - \frac{2\pi^2 r p f}{3},$$

$$F' = \pi r p f \left[(r + r') \left(\sin^2 \theta + \frac{2}{3} r \cos^3 \theta - \frac{2r}{3} \right) \right] \dots \dots \dots (6)$$

а также:

$$F' = \pi r p f \left[\left(\frac{d'' - d'}{2} + \frac{d'}{2} + r \cos \theta \right) \sin^2 \theta + \frac{2}{3} r \cos^3 \theta - \frac{2r}{3} \right],$$

$$F = \frac{\pi r p f}{\sin \theta} \left[\left(\frac{d'' - d'}{2} + \frac{d'}{2} + r \cos \theta \right) \sin^2 \theta + \frac{2}{3} r \cos^3 \theta - \frac{2r}{3} \right].$$

Допустим, что дополнительное давление p' , происходящее от упругости материала и действующее на закруглении, — величина постоянная. Эти давления, значения которых мы сейчас рассчитаем, необходимо сложить с предыдущими давлениями.

В этом случае можно принять, что $p' = p'' + p \sin \theta'$, вследствие чего надо только найти зависимости для p'' , так как зависимости для $p \sin \theta'$ уже нам известны.

Нормальное давление на элементы закругления будет:

$$2\pi p'' (r' + r - r \cos \theta') r d\theta'.$$

Это же давление на поверхности, соответствующей углу θ , равняется:

$$P_1 = 2\pi p'' r^2 \int_0^{\theta} (1 - \cos \theta') d\theta' + 2\pi p'' r r' \int_0^{\theta} d\theta' \dots \dots \dots (7)$$

$$P_1 = (2\pi r^2 p'' + 2\pi r r' p'') \int_0^{\theta} d\theta' - 2\pi p'' r^2 \int_0^{\theta} \cos \theta' d\theta',$$

1) Принимая, что

$$u = \cos \theta' \text{ и } du = -\sin \theta' d\theta',$$

получим:

$$\int \cos^3 \theta' \sin \theta' d\theta' = \int u^2 du = -\frac{u^3}{3},$$

$$\int_0^{\theta} \cos^3 \theta' \sin \theta' d\theta' = \left(-\frac{\cos^3 \theta}{3} \right)_0^{\theta} = \frac{1 - \cos^3 \theta}{3}.$$

$$P_1 = 2\pi r p' (r + r') \int_0^{\theta} d\theta - 2\pi r^2 p'' \int_0^{\theta} \cos \theta' d\theta',$$

$$P_1 = 2\pi r p' (r + r') \theta - 2\pi r^2 p'' \sin \theta',$$

$$P_1 = 2\pi p'' [(r + r') r \theta - r^2 \sin \theta] \dots \dots \dots (8)$$

Полное давление на закругление будет (см. форм. 3):

$$P + P_1 = 4\pi r p \sin^2 \frac{\theta}{2} \left(r \sin^2 \frac{\theta}{2} + r' \right) + 2\pi p'' [(r + r') r \theta - r^2 \sin \theta].$$

Проекция давлений P_1 на ось отверстия равняются:

$$P_1' = 2\pi r^2 p'' \int_0^{\theta} (1 - \cos \theta') \sin \theta' d\theta' + 2\pi r r' p'' \int_0^{\theta} \sin \theta' d\theta',$$

$$P_1' = (2\pi r^2 p'' + 2\pi r r' p'') \int_0^{\theta} \sin \theta' d\theta' - 2\pi r^2 p'' \int_0^{\theta} \sin \theta' \cos \theta' d\theta',$$

$$P_1' = 2\pi r p'' (r + r') \int_0^{\theta} \sin \theta' d\theta' - 2\pi r^2 p'' \int_0^{\theta} \sin \theta' \cos \theta' d\theta'.$$

Значения интегралов, входящих в формулу, таковы:

$$\int_0^{\theta} \sin \theta' d\theta' = (-\cos \theta')_0^{\theta} = -\cos \theta - (-1) = 1 - \cos \theta$$

и

$$\int_0^{\theta} \sin \theta' \cos \theta' d\theta' = \frac{\sin^2 \theta}{2}.$$

Таким образом, подставляя значения интегралов, получим:

$$P_1' = 2\pi r p'' (r + r') (1 - \cos \theta) - 2\pi r^2 p'' \left(\frac{\sin^2 \theta}{2} \right).$$

$$P_1' = 2\pi r p'' \left[(r + r') 2 \sin^2 \frac{\theta}{2} - \frac{1}{2} r \sin^2 \theta \right]$$

или, заменяя $\sin^2 \theta$ через $2 \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2}$, получим:

$$P_1 = 4\pi r p' \sin^2 \frac{\theta}{2} \left(r \sin^2 \frac{\theta}{2} + r' \right) \dots \dots \dots (9)$$

или же в виде функции от $r'' - r$ эти давления равняются:

$$P_1' = 2\pi p' (r + r') r (1 - \cos \theta) - \pi r^2 p'' \sin^2 \theta,$$

$$P_1' = 2\pi p'' \left[(r + r') (r'' - r') - \frac{1}{2} r^2 \sin^2 \theta \right] \dots \dots \dots (10)$$

Таким образом, полная сумма проекций сил на ось отверстия равняется (см. форм. 5 и 9):

$$P' + P_1' = \pi r p \left[(r + r') (\theta - \sin \theta \cos \theta) - \frac{2}{3} r \sin^3 \theta \right] + \\ + 4\pi r p'' \sin^2 \frac{\theta}{2} \left(r \sin^2 \frac{\theta}{2} + r' \right).$$

Трение, вызываемое давлением p'' , равняется (см. форм. 8):

$$F_1 = P_1 f = 2\pi p'' f [(r + r') r \theta - r^2 \sin \theta].$$

Полное трение равняется:

$$F + F_1 = P f + P_1 f = (P + P_1) f.$$

Проекция трения F_1' равняется (см. форм. 7):

$$F_1' = P_1 f \cos \theta',$$

$$F_1' = 2\pi r^2 p'' f \int_0^\theta (1 - \cos \theta') \cos \theta' d\theta' + 2\pi p'' r r' f \int_0^\theta \cos \theta' d\theta',$$

$$F_1' = 2\pi r p'' f (r + r') \int_0^\theta \cos \theta' d\theta' - 2\pi r^2 p'' f \int_0^\theta \cos^2 \theta' d\theta',$$

$$F_1' = 2\pi r p'' f (r + r') \sin \theta - 2\pi r^2 p'' f \left(\frac{\theta}{2} + \frac{\sin 2\theta}{4} \right) \dots \dots \dots (11)$$

Полная сумма проекций трений равняется (см. форм. 6 и 11):

$$F' + F_1' = \pi r p f \left[(r + r') \sin^2 \theta + \frac{2}{3} r \cos^3 \theta - \frac{2r}{3} \right] + \\ + 2\pi r p'' \left[(r + r') \sin \theta - r \left(\frac{\theta}{2} + \frac{\sin 2\theta}{4} \right) \right].$$

Отверстие вслед за закруглением имеет всегда цилиндрическую часть. На эту поверхность действует давление, происходящее вследствие упругости материала; последний, сильно сжатый в отверстии, при входе в цилиндрическую часть стремится восстановить диаметр несколько больше диаметра последнего. В этом случае давление на единицу окружности отверстия можно принять равным также p'' . Называя через h длину цилиндрической поверхности с диаметром $d' = 2r'$, полное давление на эту поверхность будет:

$$P'' = \pi d' h p'' = 2\pi r' h p''.$$

Мы уже говорили, что так как эти давления нормальны к оси отверстия, то их проекции на направление волочения равны нулю, а потому они не входят в уравнение равновесия сил.

Получающееся вследствие этих давлений трение равняется:

$$F'' = P'' f = \pi d' h p'' f = 2\pi r' h p'' f \dots \dots \dots (12)$$

Проекция этой силы на ось отверстия равна значению самого трения, так как оно параллельно направлению волочения.

Проекция движущего усилия P_m , направленного точно так же по оси отверстия, одинакова со значением самого усилия, вследствие чего общее уравнение равновесия между реакциями, трениями и движущим усилием P_m (усилие волочения) равняется ¹⁾ (см. форм. 5, 9, 6, 11 и 12):

$$\begin{aligned} P_m &= P' + P_1' + F' + F_1' + F'' = \\ &= \pi r p \left[(r + r') (\theta - \sin \theta \cos \theta - \frac{2}{3} r \sin^3 \theta) \right] + \\ &\quad + 4 \pi r p'' \sin^2 \frac{\theta}{2} \left(r \sin^2 \frac{\theta}{2} + r' \right) + \\ &\quad + \pi r p f \left[(r + r') \left(\sin^3 \theta + \frac{2}{3} r \cos^3 \theta - \frac{2r}{3} \right) \right] + \\ &\quad + 2 \pi r p'' f \left[(r + r') \sin \theta - r \left(\frac{\theta}{2} + \frac{\sin 2\theta}{4} \right) \right] + 2 \pi r' h p'' f. \end{aligned}$$

Значения $p = p_1 \sin \theta$ и значение p'' надо определить опытом над непосредственным сжатием при различных скоростях и в условиях, одинаковых с условиями данного случая волочения. Достигнуть этого не легко. Поэтому приходится довольствоваться формулами, дающими средние значения p и p'' в зависимости от усилий P_m , полученных при опытах протяжки.

Энергия волочения.

Энергия волочения через очко с закругленным профилем. — Так как усилие P_m действует по направлению волочения, то работа последнего при скорости V , очевидно, будет

$$W = P_m V.$$

Рассмотрим относительную важность отдельных членов уравнения равновесия и установим их окончательные значения. Допустим, что требуется протянуть металл, вызывающий максимальное давление p , равное 60 кг, состоящее из постоянной упругой реакции $p'' = 10$ кг и максимальной реакции сжатия $p \sin \theta = 50$ кг. Таким образом:

$$p_1 = p'' + p \sin \theta = 10 + 50 = 60 \text{ кг/мм}^2.$$

Отсюда имеем

$$p = \frac{p_1 - p''}{\sin \theta} = \frac{60 - 10}{\sin \theta} = \frac{50}{\sin \theta}.$$

Кроме того, задано:

$$r' = 50 \text{ мм}, \quad r'' = 55 \text{ мм}, \quad r = 15 \text{ мм}, \quad r'' - r' = 5 \text{ мм};$$

$$h = 60 \text{ мм}, \quad f = 0,15,$$

¹⁾ Мы пробовали рассчитать эту зависимость, пользуясь элементарными формулами, но расчет оказался гораздо сложнее, а результаты его не столь ясными, как получающиеся непосредственным методом. Не следует упускать из вида, что поверхность касания обладает двоякой кривизной и потому элементарные формулы мало пригодны. Кроме того, эта задача носила характер новизны (по крайней мере для нас, так как мы не знаем, чтобы она где-либо обсуждалась) и потому мы постарались выдвинуть и, насколько возможно, решить этот вопрос. Всякому, кому только приходится исследовать вопросы работы инструмента, приходится разрешать одну или несколько сложных задач, которые неизбежно заводят его далее того, чего бы ему хотелось.

$$r \cos \theta = r - (r'' - r') = 15 - 5 = 10 \text{ мм},$$

$$\cos \theta = \frac{10}{15} = 0,666, \quad \theta = 48^\circ 20', \quad 2\theta = 96^\circ 40', \quad \frac{\theta}{2} = 24^\circ 10';$$

$$\cos^2 \theta = 0,444, \quad \cos^3 \theta = 295;$$

$$\sin \theta = 0,75; \quad \sin^2 \theta = 0,56; \quad \sin^3 \theta = 0,42;$$

$$\arccos \theta = \frac{2 \times 3,14 \times 48^\circ 20'}{360} = 0,81,$$

$$\sin^2 \frac{\theta}{2} = 0,41^2 = 0,168,$$

$$\sin 2\theta = 96^\circ 40' = 0,98.$$

Сумма реакций или давлений на закругление, вызываемых давлением p , равняется:

$$P = 4\pi r p \sin^2 \frac{\theta}{2} \left(r \sin^2 \frac{\theta}{2} + r' \right) = 4 \times 3,14 \times 15 \times \frac{50}{0,75} \times 0,168 \times \\ \times 168 (15 \times 0,168 + 50) = 108\,200 \text{ кг}.$$

Сумма реакций на закругление, вызываемых упругостью p' , равняется:

$$P_1 = 2\pi p'' [(r + r') r \theta - r^2 \sin \theta] = 2 \times 3,14 \times 10 [(15 + 50) 15 \times 0,81 - \\ - (15^2 \times 0,75)] = 37\,700 \text{ кг}.$$

Полное давление на закругление равняется:

$$P + P_1 = 145\,900 \text{ кг}.$$

Проекция этих давлений будут:

$$P' = \pi r p \left[(r + r') (\theta - \sin \theta \cos \theta) - \left(\frac{2}{3} r \sin^3 \theta \right) \right] = \\ = 3,14 \times 15 \times \frac{50}{0,75} \left[(15 + 50) (0,81 - 0,75 \times 0,666) - \left(\frac{2 \times 15 \times 0,42}{3} \right) \right] = \\ = 50\,000 \text{ кг}$$

и

$$P_1' = 4\pi r p' \sin^2 \frac{\theta}{2} \left(r \sin^2 \frac{\theta}{2} + r' \right) = \\ = 4 \times 3,14 \times 15 \times 10 \times 0,168 (15 \times 0,168 + 50) = 16\,600 \text{ кг}.$$

Значения трений соответственно будут:

$$F = P f = 108\,200 \times 0,15 = 16\,230 \text{ кг} \\ F_1 = P_1 f = 37\,700 \times 0,15 = 5\,655 \text{ кг} \\ \text{следовательно } F + F_1 = 21\,885 \text{ кг}.$$

Проекция этих трений на ось отверстия дают:

$$F = \pi r p f \left[(r + r') \sin^2 \theta + \left(\frac{2}{3} r \cos^3 \theta - \frac{2r}{3} \right) \right] = 3,14 \times 15 \times \\ \times \frac{50}{0,75} \times 0,15 \left[(15 + 50) \times 0,56 + \left(\frac{2 \times 15 \times 0,295}{3} - \frac{2 \times 15}{3} \right) \right] = 13\,820 \text{ кг.}$$

$$F_1' = 2\pi r p'' f \left[(r + r') \sin \theta - r \left(\frac{\theta}{2} + \frac{\sin 2\theta}{4} \right) \right] = \\ = 2 \times 3,14 \times 15 \times 10 \times 0,15 \left[(15 + 50) \cdot 0,75 - 15 \left(\frac{0,81}{2} + \frac{0,98}{4} \right) \right] = \\ = 1,413 \times 32,5 = 45,922 \text{ кг.}$$

Полное давление на цилиндрическую часть отверстия равняется:

$$P^* = 2\pi r' h p'' = 2 \times 3,14 \times 50 \times 60 \times 10 = 188\,400 \text{ кг.}$$

Полученное значение показывает всю важность этого давления, которое возрастает вместе с длиной h цилиндрической части отверстия. Поэтому очко должен быть возможно короче.

Происходящее от этого давления трение равняется:

$$F'' = 2\pi r' h p'' f = 188\,400 \times 0,15 = 28,260 \text{ кг.}$$

Потребное движущее усилие в таком случае должно равняться:

$$P_m = 50\,000 + 16\,600 + 13\,820 + 45\,922 + 28\,260 = 154\,602 \text{ кг.}$$

Энергия при скорости в 0,040 м в секунду будет:

$$W = 154,602 \times 0,040 = 6\,104 \text{ кг.м/сек}$$

или, округляя, 6.200 кг.м, т.-е. 83 лш. силы.

Этот пример показывает, что волочение металлов требует значительных тянущих усилий и большой затраты энергии.

Так как радиус сечения стержня $r' = 50$ мм, то он должен обладать сопротивлением разрыву не менее:

$$R = \frac{P_m}{\pi r'^2} = \frac{154\,602}{3,14 \times 50^2} = 19,6 \text{ кг/мм}^2.$$

Заметим, что уменьшение диаметра $d'' - d' = 10$ мм при первоначальном диаметре в 110 мм можно получить только при горячей протяжке и что слишком большое усилие может вызвать разрыв стержня.

Если уменьшение диаметра $d'' - d'$ невелико, то вместо дуги касания можно принять хорду, составляющую с осью отверстия угол, равный $\frac{\theta}{2}$ (рис. 850). В этом случае можно вывести следующие более простые зависимости.

Поверхность касания $= \pi (r' + r'') l$, где l длина хорды равная:

$$l = \frac{r'' - r'}{\sin \frac{\theta}{2}}.$$

Нормальное давление на единицу поверхности стремится уравниваться и принять среднее значение p , дающее полное давление равное:

$$P = \pi(r' + r'')lp = \frac{\pi(r' + r'')(r'' - r')}{\sin \frac{\theta}{2}} p = \frac{\pi(r''^2 - r'^2)p}{\sin \frac{\theta}{2}}.$$

Таким образом, полное давление при одном и том же уменьшении диаметра тем больше, чем меньше значение $\sin \frac{\theta}{2}$.

Проекция силы P на ось равна:

$$P' = P \sin \frac{\theta}{2} = \pi(r''^2 - r'^2)p.$$

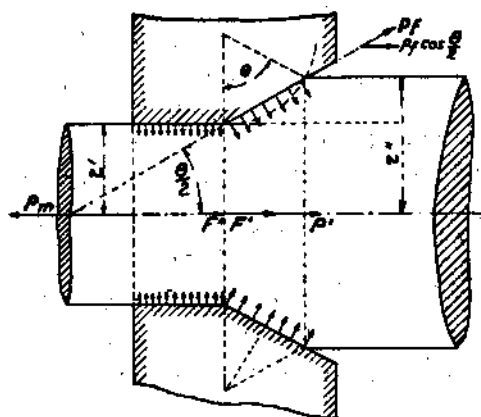


Рис. 850.

Это значение не зависит от угла $\frac{\theta}{2}$ и пропорционально разности квадратов радиусов, т.е. уменьшению сечения в плоскости, перпендикулярной оси отверстия.

Трение на конусе касания будет:

$$F = Pf = \frac{\pi(r''^2 - r'^2)}{\sin \frac{\theta}{2}} pf.$$

Проекции этого трения на направление волочения будут равны:

$$F' = F \cos \frac{\theta}{2} = Pf \cos \frac{\theta}{2} = \pi pf(r''^2 - r'^2) \frac{\cos \frac{\theta}{2}}{\sin \frac{\theta}{2}} = \pi pf(r''^2 - r'^2) \cotg \frac{\theta}{2}.$$

Так как давления и трения на цилиндрической части отверстия не изменяются и значения их те же, что и в общем случае, то имеем

$$P'' = 2\pi r' h p'; \quad F'' = 2\pi r' h p' f.$$

Уравнение равновесия таким образом принимает следующий вид:

$$P_m = P' + F' + F'' = \pi p(r''^2 - r'^2) + \pi pf(r''^2 - r'^2) \cotg \frac{\theta}{2} + 2\pi r' h p' f;$$

$$P_m = \pi p(r''^2 - r'^2) \left(1 + f \cotg \frac{\theta}{2}\right) + 2\pi r' h p' f.$$

Работа усилия P_m при скорости v равна:

$$W = P_m v = \pi p v(r''^2 - r'^2) + \pi p f v(r''^2 - r'^2) \cotg \frac{\theta}{2} + 2\pi r' h p' f v.$$

Первая часть уравнения равняется:

$$\pi p(r''^2 - r'^2) v = \text{объему сдвинутого металла.}$$

Две других части уравнения представляют сопротивления трения, работа которого в некоторых случаях вызывает сравнительно сильное нагревание. При холодном волочении температура изделия иногда повышается до 200° . Это повышение температуры оказывает благотворное влияние в таких случаях, как, например, при протяжке проволоки и труб. Однако, более высокая температура оказывает вредное влияние на очко, и если металл в этот момент обладает своей критической текучестью, то можно опасаться разрывов. При горячем волочении развивающееся от трения тепло задерживает охлаждение изделия.

Коэффициент полезного действия волочения тем выше, чем больше значение первой части уравнения сравнительно с суммой двух других частей.

Заметим, что чем меньше угол $\frac{\theta}{2}$,

тем больше нормальные давления на изделие при одном и том же уменьшении диаметра, и что, несмотря на это, проекция P' сохраняет постоянное значение. Отсюда вытекает, что чем острее конус волочильного очка (рис. 851), тем лучше, так как он сильно обжимает металл на большой поверхности, вызывая его высадку.

Рис. 851—852.

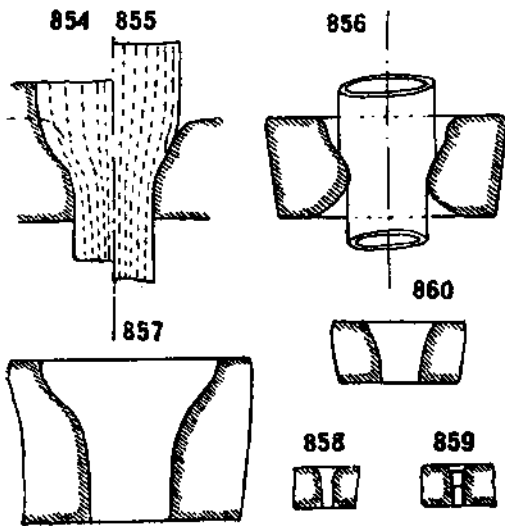
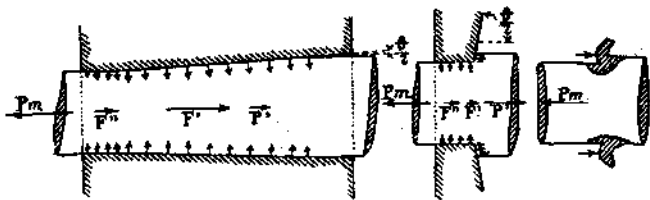


Рис. 854—860.

Однако, эти энергичные давления сжимают металл почти нормально направлению волочения и дают только небольшие составляющие, действующие в продольном направлении. Вследствие этого получается чрезвычайно сильное трение, проекция которого F' также получает большое значение и зависит от величины $\cotg \frac{\theta}{2}$. Величина F' может значительно превысить P' , обуславливающее полезное действие; P_m также получает очень высокое значение. Наоборот, при очень большом угле $\frac{\theta}{2}$, близ-

ком, например, к 90° (рис. 852), полные давления P уменьшаются и дают сравнительно очень большие продольные составляющие и очень небольшие составляющие, нормальные к оси, вследствие чего металл сжимается мало. Так как продольное направление усилий мало способствует волочению или же эти усилия должны быть весьма значительными, то на смещаемый слой металла действуют силы, стремящиеся его срезать (оторвать). Металл будет не в состоянии войти в очко всей своей массой, а потому начнет высаживаться в обратную сторону. В этом случае приходится преодолевать сопротивление отрыву (рис. 853)

Так как трение F очень мало, проекция его F' на ось отверстия также очень мала и стремится к значению, равному нулю. Эти два крайних значения угла $\frac{\theta}{2}$, вызывающие совершенно разные явления, показывают, что истечения металла через очко происходит легче при некотором промежуточном значении этого угла.

Руководствуясь формами различных отверстий для истечения жидкости, очку следует придавать сечение, состоящее из цилиндрической части и дуги переменной кривизны, направляющей металл, не слишком сжимая и не слишком высаживая его (рис. 854 и 855).

На рисунках 854—857 изображены профили очка, обычно применяемого для протяжки труб. Если труба доводится до точного размера, то отверстия закаленных стальных волочильных досок обрабатывают наждачным кругом, так как малейшая неправильность неблагоприятно отзывается на правильности размеров изделия. Для волочения проволоки профиль очка делают коническим. Для горячего волочения крупных изделий диаметром в 400 мм и больше профиль очка сильно закругляют (рис. 857).

Энергия волочения через очко с коническим профилем. — Произведем этот расчет, пользуясь данными предыдущего примера.

Давление равняется:

$$P = \frac{\pi(r'^2 - r^2)p}{\sin \frac{\theta}{2}} = \frac{3,14(55^2 - 50^2)60}{\sin 24^\circ 10'} = \frac{3,14 \times 525 \times 60}{0,41} = 241\,240 \text{ кг.}$$

Проекция равняется:

$$P' = \pi(r'^2 - r^2)p = 3,14 \times 525 \times 60 = 98\,910 \text{ кг.}$$

Трение вызываемое реакциями равняется:

$$F = Pf = 241\,240 \times 0,15 = 36\,186 \text{ кг.}$$

Это трение дает проекцию на ось волока:

$$F' = F \cos \frac{\theta}{2} = 36\,186 \times 0,912 = 33\,000 \text{ кг.}$$

Давление на цилиндрическую часть волока повышается до

$$P'' = 2\pi r' h p'' = 2 \times 3,14 \times 50 \times 60 \times 10 = 188\,400 \text{ кг.}$$

Соответствующее трение равняется:

$$F'' = 188\,400 \times 0,15 = 28\,260 \text{ кг.}$$

Тянущее усилие должно быть равным:

$$P_{\text{тл}} = P' + F' + F'' = 98\,910 + 33\,000 + 28\,260 = 160\,170 \text{ кг.}$$

Выше мы нашли, что при закругленном профиле отверстия тянущее усилие равнялось:

$$P_{\text{т}} = 154\,600 \text{ кг.}$$

Механическая работа в секунду при скорости $v = 0,040$ м повышается до:

$$W = 160\,170 \times 0,040 = 6\,406 \text{ кг. м.}$$

Отношение полезной работы к работе трения равняется:

$$\frac{98\,910}{61\,260} = \approx \frac{3}{2} = 1,5.$$

Отношение полной работы к работе трения будет:

$$\frac{W}{W_f} = \frac{160\,170}{61\,260} = 2,62; \text{ обратное отношение} = \frac{1}{2,62} = 0,38.$$

Отношение полезной работы к полной работе, или коэффициент полезного действия, равен:

$$\frac{W_u}{W} = \frac{98\,910}{160\,170} = 0,62.$$

Если требуется рассчитать относительную скорость волочильного очка и обеих половин изделия, а именно: со стороны входа в очко и со стороны выхода, то надо допустить, что при перемещении очка на расстояние v выходящая часть изделия обладает такой же относительной скоростью v . В то же время часть изделия на входной стороне очка будет отходить назад на расстояние v' , соответствующее объему сдвинутого металла.

В этом случае можно допустить, что объем сдвинутого металла равен

$$\pi(r''^2 - r'^2)v.$$

Это выражение верно, если все точки касания сдвинулись горизонтально на расстояние v' соответственно объему сдвинутого металла, заштрихованному на рисунке 861.

Этот объем металла, высаженного в сторону вступления изделия в очко, выражается в функции радиуса r'

$$\pi r''^2 v' = \pi (r''^2 - r'^2) v,$$

откуда

$$v' = \frac{(r''^2 - r'^2) v}{r''^2}$$

и

$$\frac{v'}{v} = \frac{r''^2 - r'^2}{r''^2}.$$

Скорость v' вступления изделия в очко или скорость высадки тем больше сравнительно с v , чем больше уменьшение диаметра и чем меньше последний. Окончательную относительную длину изделия можно рассчитать по пропорции:

$$\frac{l}{l} = \frac{r''^2}{r'^2}.$$

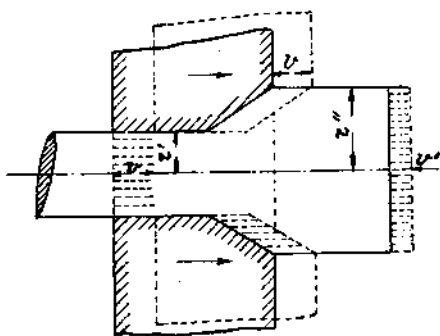


Рис. 861.

№ опытов	Характеристика образца	Номер отверстия проволоки	Диаметр мм			Сечение мм ²			Усилие волочения кг		
			До протяжки	После протяжки	Сокращение	До протяжки	После протяжки	Сокращение	Полное T	Трение F	Разность T_u
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Медная отожженная проволока с сопротивлением разрыву 22 кг/мм ² .	3	8,06	—	—	51,02	—	—	—	—	—
		4	8,06	7,80	0,26	51,02	48,78	3,24	320	120	200
		5	7,80	7,74	0,06	47,78	47,05	0,73	240	160	80
		5	8,06	7,74	0,32	51,02	47,05	3,97	360	175	185
		6	7,74	7,62	0,12	47,05	45,60	1,45	290	120	170
		6	8,06	7,62	0,44	51,02	45,60	5,42	390	210	180
		7	7,62	7,40	0,22	45,60	43,00	2,60	300	145	155
		7	8,06	7,40	0,66	51,02	43,00	8,02	400	190	210
		8	7,40	7,30	0,10	43,00	41,85	1,15	240	110	130
		8	8,06	7,30	0,76	51,02	41,85	9,17	420	190	230
		9	7,30	7,05	0,25	41,85	39,03	2,82	280	150	130
		10	7,05	6,92	0,13	39,03	37,61	1,42	220	115	105
		11	6,92	6,70	0,22	37,61	35,25	2,36	270	120	150
		12	6,70	6,60	0,10	35,25	34,21	1,04	190	120	70
		13	6,60	6,50	0,10	34,21	33,18	1,03	220	110	110
		13	7,05	6,50	0,55	39,03	33,18	5,85	350	150	200
		14	6,50	6,35	0,15	33,18	31,67	1,51	250	120	130
		15	6,35	6,14	0,21	31,67	29,60	2,07	250	120	130
		16	6,14	5,94	0,20	29,60	27,71	1,89	210	110	100
		16	7,05	5,94	1,11	39,03	27,71	11,32	420	120	300
		17	5,94	5,86	0,08	27,71	26,97	0,74	230	90	140
		18	5,86	5,74	0,12	26,97	25,87	1,10	210	80	130
		19	5,74	5,56	0,18	25,87	24,28	1,59	240	100	140
		20	5,56	5,52	0,04	24,28	23,93	0,35	130	85	45
		21	5,52	5,42	0,10	23,93	23,07	0,86	190	80	110
		21	7,05	5,42	1,63	39,03	23,07	15,96	510	100	410
		22	5,42	5,28	0,14	23,07	21,89	1,18	200	90	110
		23	5,28	5,10	0,18	21,89	20,43	1,46	210	90	120
		24	5,10	5,03	0,07	20,43	19,87	0,56	180	75	105
		24	7,05	5,03	2,02	39,03	19,87	19,16	540 *)	—	—
2	Латунная проволока.	13	7,05	6,50	0,55	39,03	33,18	5,85	510	170	340
		16	6,50	5,94	0,58	33,18	27,71	5,47	410	200	210
		16	7,05	5,94	1,1	39,03	27,71	11,32	720	210	510
		21	5,94	5,42	0,50	27,71	23,07	4,64	440	110	330
		21	7,05	5,42	1,63	39,03	23,07	15,96	870	90	780
3	Железная отожженная проволока.	13	7,05	6,50	0,55	39,03	33,18	5,85	700	340	360
		16	6,50	5,94	0,58	33,18	27,71	5,47	540	300	240
		16	7,05	5,94	1,1	39,03	27,71	11,32	840	320	520
		21	5,94	5,42	0,50	27,71	23,07	4,64	580	210	370
		21	7,05	5,42	1,63	39,03	23,07	15,96	920	120	800

Таблица 31 А.

в о л о ч е н и я.

Отношение		Усилие кг/мм ² уменьшения сечения			Суммарное усилие кг			Примечание
$\frac{T_{12}}{T_{10}} = \frac{T_{12}}{T_{11}}$	$\frac{T_{12}}{T_{11}} = \frac{T_{12}}{T_{11}}$	Полное	Трение	Разность	Полное	Трение	Разность	
13	14	15	16	17	18	19	20	
0,625	0,66	99	37	62	320	120	200	При первом пропуске проволока вы- прямлялась. При этих опытах можно получить более или менее противоречащие результаты вследствие некоторых затруднений в производстве различ- ных операций и трудности изме- рения проволоки с точностью не- скольких сотых долей мм, так как проволока получалась не всегда ци- линдрической.
0,33	0,5	330	220	110	560	280	280	
0,51	1,05	92	44	48	—	—	—	
0,58	1,42	200	84	116	850	400	450	
0,54	0,85	72	38,8	33,2	—	—	—	
0,51	1,07	116	56	60	1 150	545	605	
0,51	1,1	50	24	26	—	—	—	
0,54	1,18	210	96	114	1 390	655	735	
0,55	1,2	46	21	25	—	—	—	
0,46	0,865	100	53	47	—	—	—	
0,47	0,91	155	82	73	220	115	105	После этого пропуса проволока отжигалась. Отжиг вызвал увеличе- ние диаметра с 7,05 до 7,25 мм. Диаметр в 7,05 мм был восстановлен пропуском, не упомянутым в таблице. Этот диаметр послужил новой исход- ной точкой для сравнительных опы- тов с большими и меньшими изме- нениями диаметра.
0,55	1,25	114	52	62	490	235	255	
0,37	0,58	182	115	67	680	355	325	
0,50	1	220	106	114	900	465	435	
0,57	1,31	60	25,5	34,5	—	—	—	
0,52	1,08	166	80	86	1 150	585	565	
0,52	1,08	120	58	62	1 400	705	695	
0,47	0,91	111	58	53	1 610	815	795	
0,285	2,5	37	10,6	26,4	—	—	—	
0,61	1,44	310	120	190	1 840	905	935	
0,62	1,62	190	72	118	2 050	985	1 065	*) Проволока лопнула у точки при- крепления, дав большое процентное сжатие, показывающее, что металл еще обладал большой текучестью в вытянутой до диаметра в 5,03 мм части. Перед разрывом проволока выдерживала усилие свыше $\frac{540 \text{ кг}}{19,87} = 27,2 \text{ кг/мм}^2$.
0,58	1,4	150	63	87	2 290	1 085	1 205	
0,35	0,53	370	240	130	2 420	1 170	1 250	
0,58	1,38	220	93	127	2 610	1 250	1 360	
0,80	4,1	32	6,2	25,8	—	—	—	
0,55	1,22	170	76	94	2 810	1 340	1 470	
0,57	1,22	144	62	82	3 020	1 430	1 590	
0,58	1,4	322	132	190	3 200	1 505	1 695	
—	—	—	—	—	—	—	—	
0,665	2	87,2	29	58,2	510	170	340	
0,51	1,05	75	36,5	38,5	920	370	550	
0,71	2,4	63,5	18,6	44,9	—	—	—	
0,75	3	95	23,7	71,3	1 360	480	880	
0,90	8,6	54,2	15,6	48,6	—	—	—	
0,51	1,06	120	58	62	700	340	360	Это железо обладало сопротивле- нием разрыву в 36 кг/мм ² . При протяжке через это отверстие и нагрузке в 920 кг напряжение равняется 39,5 кг/мм ² .
0,44	0,8	99	55	44	1 240	640	600	
0,62	1,62	69	26	43	—	—	—	
0,63	1,78	125	45,2	79,8	1 820	850	970	
0,87	6,7	57,8	7,5	58,3	—	—	—	

№№ опытов	Характеристика образца	Номер отверстия доски	Диаметр мм			Сечение мм ²			Усилие волочения кг		
			До протяжки	После протяжки	Сокращение	До протяжки	После протяжки	Сокращение	Полное T	Трение F	Разность T_u
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	Свинцовая проволока.	4	8,06	—	—	—	—	—	—	—	—
		6	8,06	7,62	0,44	51,02	45,60	5,42	14	2	12
		8	7,62	7,30	0,32	45,60	41,85	3,75	15	4	11
		10	7,30	6,92	0,38	41,85	37,61	4,24	17	4	13
		12	6,92	6,60	0,32	37,61	34,21	3,40	12	4	11
		12	8,06	6,60	—	—	—	—	—	—	—
5	Выправка диаметра.	13 (1)	—	6,5	—	—	—	—	—	—	—
		15	6,5	6,14	0,36	33,18	29,60	3,58	15	4	11
		17	6,14	5,86	0,28	29,60	26,97	2,63	17	4	13
		17	6,5	5,86	0,64	33,18	26,97	6,21	22	6	16
		19	5,86	5,56	0,30	26,97	24,28	2,69	13	1,5	11,5
		19	6,5	5,52	0,98	33,18	23,92	9,26	28 (2)	—	—
		21	—	5,42	—	23,07	—	—	—	—	—
		23	5,42	5,10	0,32	23,07	20,40	2,67	8	1	7
		25	5,10	4,95	0,15	20,40	19,20	1,20	7	1	6
		25	5,42	4,95	0,47	23,07	19,20	3,87	9,5	1,5	8
		27	4,95	4,76	0,19	19,02	17,70	1,32	7,5	1	6,5
		27	5,42	4,76	0,66	22,07	17,70	5,37	12	2	10
		29	4,76	4,49	0,27	17,70	15,80	1,90	8	1	7
		29	5,42	4,49	0,93	—	—	—	18 (3)	—	—
6	Железный прут.	—	24,1	22,9	1,2	456	411	45	5 650 (4)	350	5 300
7	Т о ж е	—	24,6	18,3	6,3	475,05	262,88	212	9 200 (5)	—	—
8	Т о ж е	—	26,65	25,6	1,05	557	514	42,65	5 350	—	—

№№ опытов	Характеристика образца	Первоначальная толщина стенок	Диаметральный размер			Первоначальная толщина
			Первоначальный диаметр	После протяжки	Уменьшение диаметра	
1	2	3	4	5	6	7
9	Медная паяная труба	2,25	70	65	5	2,35
10	Т о ж е	2,25	84,4	81,2	3,2	2,275
11	Т о ж е	2,75	145	140	5	2,8

Таблица 31 В.

В О Л О Ч Е И Я.

Отношение		Усилие кг/мм ² уменьшения сечения			Суммарное усилие кг			Примечание
$\frac{T_u}{T}$	$\frac{T_u}{T}$	Полное	Трение	Разность	Полное	Трение	Разность	
$\frac{12}{10}$	$\frac{12}{11}$							
13	14	15	16	17	18	19	20	
—	—	—	—	—	—	—	—	1. Протяжка оказалась невозможна, так как проволока рвалась при усилии в 36 кг, т. е. около 1 кг/мм ² . 2. При усилии в 28 кг проволока удлиняется и не разрывается; диаметр сокращается до 5,46 мм. Диаметр после выправки равнялся 5,42 мм. При усилии в 28 кг металл выдерживает напряжение в 1,2 кг/мм ² . 3. При усилии в 18 кг проволока рвется. Так как диаметр при этой нагрузке равняется 3,7 мм, то соответствующее напряжение равняется 1,7 кг/мм ² . Таким образом, сопротивление постепенно возрастало до 1, 1,2 и 1,7 кг/мм ² . 4. При начале заедания сопротивление трения равняется 720 кг. 5. Проволока разорвалась в начале заедания. Отношение диаметров: $\frac{18,3}{24,6} = 0,73.$
0,14	6	2,6	0,37	2,23	14	2	2	
0,26	2,7	4	1,4	2,6	29	6	23	
0,23	3,2	4	0,95	3,05	46	10	36	
0,27	2,7	5	1,18	3,82	61	14	47	
—	—	—	—	—	—	—	—	
0,27	2,7	4,2	1,1	3,1	15	4	11	
0,23	3,2	6,5	1,5	5	32	8	24	
0,27	2,6	3,5	0,96	2,54	—	—	—	
0,11	7,5	5	0,55	4,45	45	9,5	35,5	
—	—	3	—	—	—	—	—	
0,12	7	3	0,37	2,63	8	1	7	
0,14	6	5,8	0,8	5	15	2	13	
0,16	5,3	2,5	0,31	2,19	—	—	—	
0,13	6,5	5,7	0,75	4,95	22,5	3	19,5	
0,16	5	2,4	0,37	2,03	—	—	—	
0,12	7	4,2	0,51	3,69	30,5	4	26,5	
—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	126	7,8	118,2	—	—	—	
—	—	43,5	—	—	—	—	—	
—	—	125	—	—	—	—	—	

Уменьшение сечения	Полное усилие протяжки кг	Первоначальная длина	Длина после протяжки	Удлинение	Полное усилие на кг/мм^2 уменьшения сечения	Примечание
8	9	10	11	12	13	
14,08	2 080	3 300	3 400	100	148	Эти опыты недостаточно многочисленны, чтобы из них можно было вывести какие-либо данные, кроме коэффициента сопротивления протяжке при обычных сокращениях размеров, встречающихся на практике.
16,2	2 560	4 010	4 120	110	158	
24,20	4 480	4 000	4 080	80	184	

Волочение профилированных изделий сопровождается такими изменениями усилий и скорости, что невозможно установить общего правила расчета затраты энергии при различных условиях. Как и в большинстве случаев, практика здесь идет впереди теории.

Что касается волочения полых изделий, как, например, труб и стальных и иных сосудов, то операция производится на оправке, и к этому случаю можно применить приведенные выше формулы, принимая за среднее давление значение, полученное при аналогичных опытах над работой волочения. Однако, если трубы протягиваются без внутренней оправки, при чем можно получить только небольшие изменения диаметров, то можно воспользоваться упрощенными зависимостями, с которыми мы уже познакомились выше.

Во втором томе мы приведем различные типы сложных волочильных отверстий, из которых некоторые имеют геликоидальную форму, весьма благоприятствующую волочению. Там же мы встретимся с вращающимися волочильными досками, трение на которых значительно уменьшается.

Опыты волочения.

Опыты волочения железной проволоки производились при следующих условиях. Волочильная доска зажималась в тисках, проволока пропускалась через отверстие и протягивалась таями. Между точкой крепления талей и клещами, захватывавшими проволоку, помещали

динамометр, которым сперва измеряли полное тянущее усилие при протяжке. Затем для измерения трения клещи и динамометр переносили на противоположную сторону и при обратной протяжке измеряли усилие трения на цилиндрической части очка. Волочильная доска была обычной доской, применяющейся для протяжки проволоки до 8 мм диаметром. Последовательные диаметры проволоки измерялись микрометром с точностью до сотых долей миллиметра.

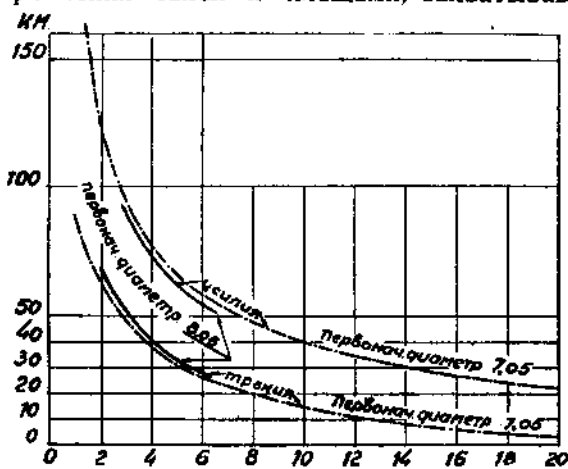


Рис. 862.

Для опытов волочения толстой проволоки мы пользовались машиной для испытания сопротивления материалов, производя протяжку или вытягиванием или давлением. Получаемые результаты приводятся в таблице 30.

В опыте № 1 с медной отожженной проволокой мы постепенно свели диаметр ее с 8,06 мм до 5,03 мм в двадцать пропусков.

В таблице видно, что в пределах между обоими диаметрами 8 и 5 мм усилия или сопротивления волочению на мм^2 сокращения сечения мало отличаются между собой.

Так, например, при уменьшениях диаметров на 0,26 и 0,25 мм сопротивление волочения на мм^2 уменьшения сечения равняется 99 и 100 кг, при уменьшении диаметра на 0,22 мм, сопротивление равняется 116 и 114 кг/мм^2 , при уменьшениях на 0,10 и 0,12 мм сопротивление равняется 210, 220, 190, 220 кг/мм^2 .

Влияние величины диаметра.—Если вычертить кривые напряжений на квадратный миллиметр уменьшения сечения медной отожженной проволоки с первоначальными диаметрами в 8,06 и 7,05 мм при последовательных протяжках в условиях опытов, можно видеть (рис. 862), что ординаты, соответствующие полным усилиям протяжки проволоки в 8,06 мм диаметром, меньше таких же ординат кривой для проволоки с первоначальным диаметром в 7,05 мм.

Разница между этими ординатами невелика, но и диаметры мало отличаются друг от друга. Рассматривая тем не менее значения, полученные для проволоки диаметром в 2,00 мм из такого же качества меди, можно допустить, что при диаметрах, превышающих несколько миллиметров и различных изменениях в возможных пределах, диаметр проволоки оказывает незначительное влияние на напряжение на мм². Точно также обстоит дело и с трением. Тем не менее можно заметить, что кривая трения проволоки в 8,06 мм лежит выше кривой трения проволоки в 7,05 мм диаметром. Это вполне понятно, так как упругость толстой проволоки в поперечном направлении больше упругости тонкой проволоки.

Кривые для медной проволоки показывают, что при небольших уменьшениях диаметра, близких к одной десятой миллиметра, сопротивление на квадратный миллиметр уменьшения сечения после пропуска достигает или превышает 300 кг, т. е. достигает очень большой величины.

Так, при уменьшении диаметра в 0,07 мм то же сопротивление равняется 322 кг/мм². Наоборот, при сильных сокращениях, близких к 1 мм, сопротивление на 1 мм² сокращения сечения падает примерно до 40 кг/мм².

При уменьшениях диаметра на 0,5 мм сопротивление протяжке в среднем равняется 65 кг/мм² сокращения сечения.

Быстрое возрастание сопротивлений на квадратный миллиметр сокращения сечения проволоки после пропуска легко объясняется, как мы уже говорили, тем, что если металл обладает некоторой упругостью, то развивающееся трение повышает до бесконечности сопротивление на единицу сокращения сечения по мере приближения этого сокращения к нулю.

Так как механическая работа на единицу длины протяжки зависит также от этого сопротивления, то поэтому гораздо выгоднее вести протяжку при больших сокращениях сечения, нежели при небольших.

Можно видеть, что для перехода от диаметра в 8,06 мм к диаметру 7,30 мм в один пропуск достаточно усилия в 420 кг, тогда как при четырех пропусках сумма усилий повышается до 1150 килограмм.

Для точного сравнения затраченных энергий, надо рассмотреть протяжку проволоки определенной длины, как, например, длиной в 1 м. Опыт такой протяжки дал следующие результаты.

Пр о п у с к	Д л и н а в м	Р а б о т а
1-й	1,060	$1,060 \times 320 \text{ кг} = 340 \text{ кг. м}$
2-й	1,080	$1,080 \times 240 \text{ „} = 260 \text{ „}$
3-й	1,120	$1,120 \times 290 \text{ „} = 325 \text{ „}$
4-й	1,180	$1,180 \times 300 \text{ „} = 355 \text{ „}$
Итого	—	1.280 кг. м
При одном пропуске	1,180	$1,180 \times 420 \text{ кг} = 495 \text{ „}$

Отношение $\frac{1280}{495} = 2,58$.

Таким образом, затрата энергии при четырех пропусках в два с половиной раза больше, нежели при одном. В таблице 30 видно, что для уменьшения диаметра проволоки с 7,05 мм до 5,03 мм при значительном количестве пропусков сумма развиваемых усилий достигает 3 200 кг, тогда как при одном пропуске усилие равняется приблизительно 540 кг.

Руководствуясь этими результатами, первые пропуски, когда металл обладает большой текучестью и может безопасно выдерживать очень большие деформации, делают при большом сокращении диаметра. Тем не менее существует определенный предел уменьшения диаметра, при котором проволока разрывается, как то показывает 24-й пропуск опыта. Операция оказалась невозможной при уменьшении диаметра с 7,05 мм до 5,03 мм.

Выведем уравнение равновесия для этого периода опыта. Назовем через d первоначальный диаметр проволоки, через d' диаметр после пропуска, через R_e сопротивление волочению на мм² уменьшения сечения, а через R сопротивление металла разрыву. Мы будем иметь, что:

$$\frac{\pi d'^2}{4} R = \frac{\pi (d^2 - d'^2)}{4} R_e,$$

откуда:

$$d' = d \sqrt{\frac{R}{R + R_e}} \quad \text{или} \quad \frac{d'}{d} = \sqrt{\frac{R_e}{R + R_e}}.$$

Если эту зависимость приложить к упомянутому выше пропуску, то мы получим следующее значение:

$$R_e = \frac{d'^2}{d^2 - d'^2} = \frac{7,05^2 \times 27 \text{ кг}}{7,05^2 - 5,03^2} = \frac{50 \times 27,2}{50 - 25,5} = \frac{136,0}{24,5} = 55 \text{ кг/мм}^2.$$

Это довольно большое значение, так как для пропуска № 21 мы имеем, что $R_e = 32 \text{ кг/мм}^2$ и что для пропуска № 24 это значение должно было бы быть по обнаруженному закону еще меньше.

Допуская, что $R_e = 30 \text{ кг/мм}^2$, имеем, что:

$$d' = 7,05 \sqrt{\frac{30}{27 + 30}} = 7,05 \times 7,3 = 5,1 > 5,03.$$

В обычной практике уменьшения диаметров $d - d'$ устанавливают таким образом, чтобы не развивать в изделии растягивающего усилия R на единицу сечения свыше предела упругости, т.е. для железа не свыше 18—20 кг/мм², а для меди — не свыше 10—12 кг/мм².

При данном диаметре d' усилие волочения должно быть:

$$P_m = \frac{\pi d'^2}{4} R, \quad \text{откуда} \quad d' = \sqrt{\frac{4 P_m}{\pi R}}.$$

Таким образом, при $P_m = 100\,000 \text{ кг}$ для очень мягкой стали, обладающей сопротивлением $R = 15 \text{ кг/мм}^2$, можно протягивать круглые изделия, диаметр которых равняется:

$$d' = \sqrt{\frac{4 \times 100\,000}{3,14 \times 15}} = 97 \text{ мм}$$

или, округляя, 100 мм. Уменьшение диаметра рассчитывается по зависимости:

$$P_m = \frac{\pi (d + d') (d - d')}{4} R_e, \text{ откуда } d - d' = \frac{4P_m}{\pi R_e (d + d')}.$$

Так как d' и d мало отличаются друг от друга, то можно допустить, что:

$$d - d' = \frac{4P_m}{\pi R_e \times 2d}.$$

При $d = 100$ и $R_e = 120$ кг/мм² получаем, что:

$$d - d' = \frac{4 \times 100\,000}{3,14 \times 120 \times 200} = 5,3 \text{ мм.}$$

Чаще всего принимают меньшее уменьшение диаметра, так как при этой операции стремятся скорее выравнивать изделия, нежели значительно вытянуть их.

При том же уменьшении диаметра $d - d'$ потребная мощность P_m волочильного стана пропорциональна сумме диаметров $(d + d')$ или просто диаметру d , откуда

$$P_m = \frac{2\pi R_e d}{4} (d - d').$$

Влияние трения.—Измерить трение на конической или закругленной части волочильного отверстия невозможно. Поэтому мы смогли определить только трение без смазки на цилиндрической части отверстия.

В таблице приводятся значения трения для каждого пропуска. Они сильно колеблются, в зависимости от полезного усилия и от падения его на квадратный миллиметр уменьшения сечения проволоки при пропуске.

Можно видеть, что трение тем больше, чем меньше уменьшение диаметра. Характер кривых трения одинаков с характером кривых полных усилий волочения на квадратный миллиметр уменьшения сечения.

Допустим, что уменьшение диаметра стремится к нулю. Так как трение не равняется нулю, то давление, вызывающее уменьшение диаметра при пропуске, в точности соответствует упругости металла, а по выходе из отверстия проволока принимает свой первоначальный диаметр. В подобном случае значение трения на единицу уменьшения сечения стремится к бесконечности. Таким образом, асимптотой для этой кривой будет ось ординат.

При значительных уменьшениях диаметра упругость, которую можно принять за величину постоянную, оказывает меньшее влияние на механический коэффициент полезного действия. Если допустить, что тянущее усилие растягивает металл в цилиндрической части отверстия, то трение в этой части стремится к нулю, вследствие чего кривая трений пересечет ось абсцисс в точке, для которой такая гипотеза справедлива.

Кроме того, если допустить, что металл очень ковкий и выдерживает сильное уменьшение диаметра без разрыва частиц металла, то усилие стремится к постоянному значению; последнее соответствует протяжке металла с увлечением части его, прилегающей к волочильному очку.

При этом условии кривая полных сопротивлений стремилась бы к постоянному значению.

Добавим, что при уменьшении диаметра с 8,06 до 7,40 мм или до 7,30 мм трение постоянно и что тянущие усилия в 400 и 420 кг дают отношение $\frac{T_u'}{T} = 0,51$ и 0,55.

При пропуске № 5 диаметр проволоки с 7,80 мм уменьшается до 7,74 мм, т.-е. на 0,06 мм, и значение отношения $\frac{T_u'}{T}$ падает до 0,33. Это указывает, что трение втрое превышает полезное усилие.

В опыте № 1 мы видим, что это отношение несколько больше 0,50.

Таким образом, в пределах опыта протяжки медной проволоки без смазки, работа на преодоление трения почти равняется полезной работе. По этому отношению, пользуясь суммарными усилиями, можно рассчитать значения трения и полезной работы, которые равняются 1500 кг и 1695 кг соответственно.

В применявшемся очке цилиндрическая часть отверстия имела сравнительно с диаметром большую длину. Для уменьшения трения можно было бы укоротить цилиндрическую часть очка, как то делают при протяжке труб больших диаметров. В последнем случае очку придают только закругленную поверхность касания и не устраивают вовсе цилиндрической части. Очком с цилиндрической частью следует пользоваться только для последних пропусков начисто. Таким образом теоретически можно достигнуть значительного уменьшения затрачиваемой энергии.

Отжиг металла ведет к уменьшению трения, особенно в начале операции, при первом пропуске. Наоборот, упругость и твердость металла повышаются с количеством пропусков, вследствие чего трение увеличивается.

Вследствие увеличения диаметра ¹⁾ металла, происходящего при отжиге, мы не сочли нужным отжигать проволоку после каждого пропуска, чтобы сохранить неизменность условий опыта или, по крайней мере насколько то возможно, сохранить эти условия. Нужно заметить, что выведенные из опытов законы справедливы для указанных выше условий опытов.

Влияние отжига на величину трения можно видеть, сравнивая первый пропуск № 4 с пропуском № 9, при которых уменьшения диаметра равнялись 0,26 и 0,25 мм. Напряжения металла, вызываемые трением, соответственно равнялись 37 и 53 кг/мм².

Влияние скорости. — Мы изменяли также и скорость волочения, увеличивая ее вдвое, втрое и даже в большее число раз. Усилие с увеличением скорости возрастало сравнительно немного, от 10 до 20 процентов; нагревание проволоки и инструмента происходило гораздо быстрее, диаметр очка увеличивался на несколько сотых миллиметра, что в результате уменьшало усилие до его предыдущего или даже меньшего значения. Поэтому нужно иметь возможность работать при широком изменении скоростей. В этом случае при хорошей смазке трение уменьшается. Это уменьшение компенсировало бы повышение сопротивления металла.

¹⁾ При измерении микрометром с точностью до сотых долей миллиметра диаметров образцов еще горячего металла, который можно, однако, было держать в руках, мы нашли, что не трудно проследить за явлениями сокращения металла при охлаждении. Так как диаметр проволоки равняется только нескольким миллиметрам, то последовательные изменения его можно было измерять с точностью до сотых долей.

Влияние сильной протяжки. — Медная проволока, которой мы пользовались в опытах, обладала после отжига сопротивлением разрыву в 22 кг/мм^2 .

Продолжая опыт до разрыва проволоки, вследствие слишком сильного уменьшения диаметра, мы видим, что разрыв произошел при усилии в 540 кг , что при первоначальном сечении в $19,87 \text{ мм}^2$ дает сопротивление в $27,2 \text{ кг/мм}^2$. Кроме того, процентное удлинение в шейке разрыва и поперечное сжатие показывают, что сопротивление меди при сильной протяжке значительно возрастает.

Сравнительные опыты волочения меди, латуни, железа и свинца.

Опыты №№ 1, 2, 3 и 4. — Чтобы определить сопротивления волочению меди, латуни, железа и свинца и для сравнения их между собой, мы произвели несколько опытов приблизительно в одинаковых условиях с образцами одинакового диаметра (опыты №№ 2, 3 и 4).

Кроме того, мы дополнили диаграммы (рис. 863 и 864) результатами других опытов, которые мы, к сожалению, лишены воз-

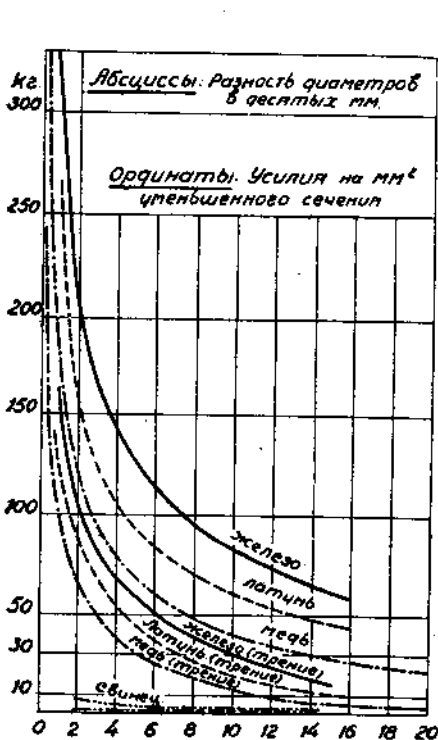


Рис. 863.

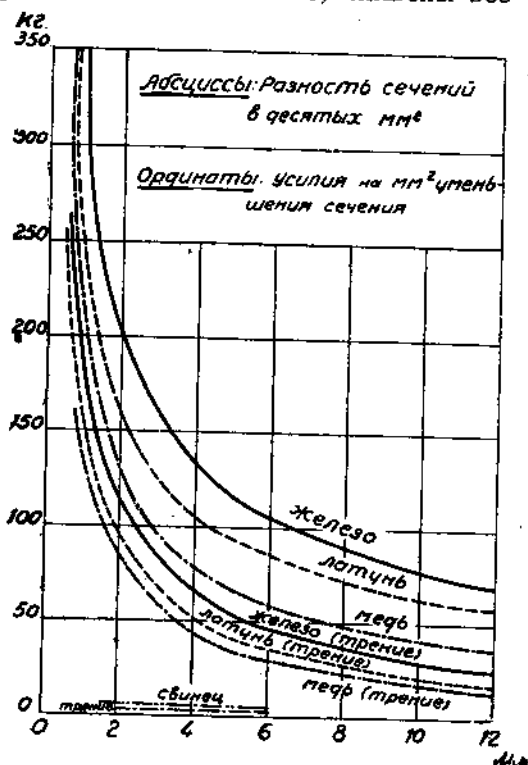


Рис. 864.

можности привести. Таким образом, мы получили кривые, отличающиеся друг от друга как в том случае, когда переменные отнесены к уменьшению диаметра, так и тогда, когда они отнесены к уменьшению сечения. Последнее более рационально. Произведение из сечения на усилие дает значение полного тянущего усилия и, следовательно, значение, пропорциональное затраченной работе на единицу длины. Кроме того, так как кривые имеют одинаковый характер, то

они позволяют сравнивать сопротивления этих металлов волочению. По этим кривым мы видим, что железо относится к тем металлам, которые требуют затраты большей энергии для преодоления трения волочения.

Затем идет латунь, кривая которой значительно разнится от кривой железа, тогда как в опытах прессования иковки ударами мы нашли, что расхождение между этими кривыми очень незначительно. (Это вытекает из природы этих двух металлов).

Кривая меди дает для напряжений вдвое меньшие значения по сравнению с кривой железа. Так, например, для уменьшения диаметра на 1,4 мм железо требует усилия в 60 кг/мм², а медь только 28 кг/мм².

Для уменьшения диаметра на 0,3 мм железо требует 166 кг/мм², а медь 80 кг/мм², т.е. практически вдвое меньшего усилия. Это отношение довольно близко к отношению сопротивлений железа и меди при первых деформациях от сжатия (оно равняется $\frac{40}{20} = 2$).

Оно близко к отношению сопротивления холодного железа к сопротивлению того же железа при вишнево-красном калении.

Средние отношения сопротивлений волочению железа и латуни при уменьшении диаметра на 1,6 мм равняются $\frac{56 \text{ кг/мм}^2}{42 \text{ кг/мм}^2}$, при уменьшении диаметра на 0,5 мм среднее отношение равняется $\frac{126}{90}$, т.е. в обоих случаях $\frac{4}{3}$.

Для латуни и меди при уменьшении диаметра на 1,6 мм отношение равняется $\frac{42}{24} = \frac{7}{4}$, а при 0,5 мм оно равняется $\frac{90}{66} = \frac{4}{3}$.

Сопротивления свинца и, в особенности, его сопротивление трению очень незначительны, вследствие чего коэффициент полезного действия волочения значительно выше такого же коэффициента других металлов. Сравнительно с медью, свинец требует для протяжки в условиях опытов в 25 раз меньше энергии.

Волочение свинца представляет только относительный интерес. Тем не менее опыты показывают, что при этом мягком металле невозможны такие сильные уменьшения диаметра как при вязких, но менее ковких металлах.

Свинцовая проволока диаметром 6,5 мм рвется при уменьшении диаметра до 5,52 мм, тогда как медная проволока разрывается при уменьшении диаметра от 7,05 до 5,03 мм, а латунь и железо выдерживают уменьшение диаметра с 7,05 до 5,42 мм.

Кроме того, приведенная выше зависимость, а именно:

$$d' = d \sqrt{\frac{R_e}{R + R_e}}$$

показывает, что диаметр уменьшается пропорционально корню квадратному, а этот последний уменьшается пропорционально сумме сопротивлений растяжению и волочению.

Для данного случая если $R_e = R$, имеем:

$$d' = d \sqrt{\frac{1}{2}} = 0,76 d$$

Так как R_s обычно, чтобы только не сказать всегда, больше R , то отсюда вытекает, что предел максимального уменьшения диаметра близок к $d' = 0,76d$, откуда $d - d' = 0,24d$.

Для меди это значение можно легко проверить, так как при пропуске № 24 или при разрыве:

$$d = 7,05; \quad d' = 5,03,$$

$$d' = 5,03 \approx 0,76d = 0,76 \times 7,05 = 5,3$$

Надо заметить, что когда тянущее усилие близко к сопротивлению разрыва, то трение в цилиндрической части очка уже не существует, вследствие уменьшения диаметра изделия. Эта зависимость применима только для различных типов волоочильных отверстий обычной конструкции.

Для латуни и железа опыты №№ 2 и 3 дают, что уменьшение диаметра при $5,42 > 5,3$ не вызывает разрыва. Однако, сопротивления в 38 кг/мм^2 для латуни и в 40 кг/мм^2 для железа, полученные при пропуске № 21, позволяют утверждать, что разрыв происходит при уменьшении диаметра, близком к 5,3. (В другом опыте мы нашли, что разрыв происходит при уменьшении диаметра с 7,06 мм до 5,56 мм).

Отсюда следует, что сопротивление R_s металлов при максимальном уменьшении диаметра равняется R .

В других опытах мы получили следующие результаты, относящиеся к случаю разрыва.

Железная отожженная проволока:

$$\frac{d'}{d} = \frac{1,81}{2,55} ; \frac{1,60}{1,95} ; \frac{1,29}{0,81} ; \frac{0,98}{1,29} \approx 0,76.$$

Латунь:

$$\frac{1,14}{1,48} ; \frac{3,48}{3,82} ; \frac{5,56}{7,06} ; \frac{4,35}{5,56} ; \frac{3,34}{4,35} ; \frac{2,64}{3,34} ; \frac{1,87}{2,64} ; \frac{1,82}{2,50}.$$

Мягкая отожженная сталь:

$$\frac{5,8}{7,5} ; \frac{4,1}{5,6} ; \frac{3,05}{4,1}.$$

Опыты №№ 6, 7, 8 с железом. — Из опытов, которые мы произвели с образцами большего диаметра, мы приводим опыты №№ 6, 7 и 8. Опыты производились при уменьшениях диаметров на 1,2 мм (опыт № 6), на 6,3 мм (опыт № 7) и на 1,05 мм (опыт № 8).

Опыт № 1 показывает на небольшое значение трения при очке, с сильно закругленным профилем сечения.

Сопротивления разрыву в опытах №№ 6 и 8 близки к 125 кг/мм^2 . Этим средним значением можно пользоваться на практике, когда трением на цилиндрической части очка можно пренебречь и когда уменьшение диаметра достигает 1 мм.

Опыт № 7 производился при уменьшении диаметра на 6,3 мм, однако притягиваемый образец разорвался до окончания протяжки.

Сопротивление понизилось до 43 кг/мм^2 , что показывает всю выгодность больших уменьшений диаметра.

Разрыв образца позволяет рассчитать предельное отношение диаметров. Так мы имеем $\frac{18,3 \text{ мм}}{24,6 \text{ мм}} = 0,73$, что близко к 0,76 — значению, которое мы нашли выше как средний предел непосредственной вытяжки.

Опыты №№ 9, 10, 11.—Эти опыты производились с медными трубами, протягивая их на волочильном стане медницкой мастерской в обычных практических условиях.

В этом случае мы точно так же стремились определить сопротивление волочению на 1 мм² уменьшения сечения, для которых нашли значения, равные 148, 158 и 184 кг/мм². Можно видеть, что толщина стенок труб после протяжки через волок несколько увеличивается, а именно на несколько сотых миллиметра.

Этих опытов произведено слишком мало, чтобы можно было судить об изменениях отдельных элементов волочения, а потому их надо продолжить и распространить на целый ряд диаметров при различных уменьшениях сечения, подобно опытам волочения проволоки.

Опыты волочения толкающим усилием.

Вместо того, чтобы протягивать образец через волочильное очко, его можно подвергнуть усилию, действующему на заднюю часть заготовки в направлении движения, т.е. давлению. Этот процесс применяется при протяжке начерно крупных, не слишком длинных изделий. Процесс протяжки толкающим усилием далеко не столь выгоден как процесс протяжки тянущим усилием, как то можно судить по результатам опытов №№ 1, 2, 3 и последующих.

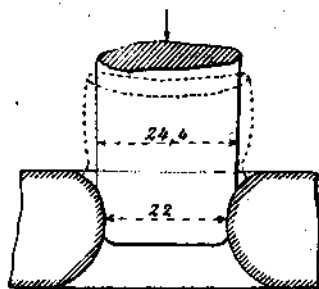


Рис. 865.

Образец, прежде чем углубиться в отверстие, сжимается, его диаметр более или менее увеличивается, до тех пор пока усилие проникновения не достигнет постоянного значения. Последнее зависит также от длины цилиндрической части очка, которая при этом процессе должна быть возможно меньше.

Опыт № 1 показывает, что при отношении диаметров, равном 0,90, протяжка этим способом невозможна (рис. 865), тогда как предельное отношение при протяжке тянущим усилием колеблется около 0,76. Мы видели, что образец № 7 диаметром 24,6 мм при тянущем усилии доводится при одном пропуске до диаметра в 18,5 мм, тогда как при давлении невозможно получить уменьшение диаметра до 22 мм. Таким образом разность равняется 22 мм — 18,5 мм = 3,5 мм.

В опыте № 2 мы нашли, что предельное отношение диаметров 20,1 мм и 18,5 мм равняется $\frac{18,5 \text{ мм}}{20,1 \text{ мм}} = 0,92$.

Опыт № 3 дал соответствующий результат, но можно видеть, что сопротивление волочению давлением значительно больше, нежели при таком же опыте тянущим усилием. Согласно результатов этого опыта не следовало бы брать отношения диаметров ниже 0,94. Это подтверждается опытами №№ 4 и 5, а также опытом № 6, производившимся при отношении равном 0,88; при этом наблюдалось раздвигание образца.

В каждом из этих опытов мы измеряли усилие трения на цилиндрической части очка.

Здесь точно так же при больших уменьшениях диаметра трение было относительно меньше, чем при небольших уменьшениях диаметра.

Коэффициент трения протяжки определялся на квадратный миллиметр сокращения сечения.

Особенно сильное трение наблюдалось в опытах №№ 8 и 9 при диаметре образцов в 47 мм, вследствие того, что при больших диаметрах приходилось увеличивать длину цилиндрической части очка.

Так в опыте № 8 при небольшом уменьшении диаметра мы нашли, что полезное усилие равнялось только 150 кг, тогда как трение равнялось 200 килограммам.

Эта разница еще больше в опыте № 9, где полезное усилие равняется 100 кг, а усилие трения 300 кг.

Эти результаты показывают, что при холодной протяжке толстых палок требуется сравнительно большая мощность, а коэффициент полезного действия очень невысок. Процесс холодной протяжки больших диаметров может быть экономичным только при незначительных уменьшениях диаметров, т.-е. при калибровке изделий.

Опыты волочения с толкающей оправкой.

Мы приведем только опыты, произведенные с медным кружком выштампованным при помощи пуансона.

Штамповку обжимали на оправках меньшего размера и затем вытягивали толкающими оправками различных диаметров.

Результаты приведены в таблице 32.

Длина образца после штамповки пуансоном равнялась 18,7 мм. При уменьшении первоначальных диаметров штамповки с 33 и 26,7 мм до 26 и 20 мм длина ее увеличилась только до 23 мм.

Усилия обжима значительно меньше, нежели усилия протяжки, соответствующие пропускam №№ 9—13, которые одни позволяют точно выяснить сопротивление на квадратный миллиметр уменьшения сечения.

Максимальное сопротивление при каждом последовательном пропуске при приблизительно одинаковых уменьшениях диаметра колеблется между 65 и 75 кг/мм². Усилие достигает своего максимального значения с самого начала углубления образца в очко. Это указывает, что деформация локализуется у входа в очко и что трение сравнительно невелико. Очко закруглено и не имеет цилиндрической части. Значение трения, возрастающее к концу пропуска, равняется приблизительно 10—15 кг/мм². К концу пропуска штамповка принимает эллиптическую форму (рис. 866).

Так как уменьшение диаметра штамповки при пропуске № 13 было незначительно, то сопротивление повысилось до 87 кг/мм².

Максимальное толкающее усилие на вышедшую из очка часть штамповки при пропуске № 10 повысилось до $\frac{2960}{138,2} = 21 \text{ кг/мм}^2$. Это значение довольно близко к значению сопротивления металла разрыву.

Поэтому не следует прибегать к более сильному уменьшению диаметра.

В аналогичном опыте, при десятом пропуске, штамповка, которая не отжигалась с начала опыта, внезапно разорвалась на расстоянии 10 мм от закругления цилиндрической части. При этом опыте диаметр толкающей оправки равнялся 20 мм, диаметр очка — 22 мм, штампован-

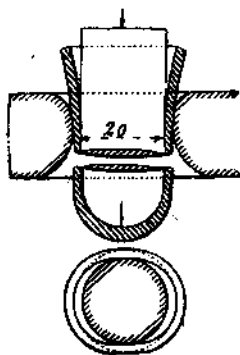


Рис. 866.

Таблица 32 А.

О п ы т ы В о о ч е н и я .

№№ опытов	Характеристика образца	Диаметральные размеры мм			Сечение мм²			Толкающее усилие кг	Длина протянутой части	Давление на кг/мм² уменьшения сечения	Усилие в цилиндрической части отверстия при заедании			Примечание
		Начальный диаметр	Диаметр после пропуска	Уменьшение диаметра	Начальное	После пропуска	Уменьшение				Усилие	Длина цилиндрической части	Усилие на кг/мм²	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Железный	24,4	22	2,4	—	—	—	8 600	—	—	—	—	—	Углубление = 1 мм. Образец сжался и не мог пройти через волоочильное отверстие.
2	"	20,1	18,5	1,6	317	269	48	23 500	—	—	—	—	—	Отношение $\frac{22}{24,4} = 0,90$ При усилии в 12 500 кг образец сжимался и углубился на 4 — 5 мм. При нагрузке в 20 000 кг очко лопнуло. При усилнии 20 000 кг усилие на мм² сечения образца равнялось приблизительно 50 кг.
		—	—	—	—	—	—	6 000	1	124	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	7 900	2	165	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	10 200	3	212	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	11 500	4	240	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	12 500	5	260	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	до 20 000	—	—	—	—	—	
3	"	23,2	21,7	1,3	423	369,8	53,2	7 600	1	146	—	—	—	Отношение $\frac{18,5}{20,1} = 0,92$ Отношение $\frac{21,7}{23,2} = 0,94$
		—	—	—	—	—	—	8 400	2	161	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	9 400	3	180	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	10 400	4	200	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	11 000	5	10	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	11 600	6	223	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	12 000	7	230	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	12 200	8	230	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	12 200	9	230	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
4	"	13,8	12,9	0,9	149	130	19	2 650	1	140	—	—	—	Образец одинаковых размеров дал очень сильную высадку. Это указывает, что предельный диаметр, при котором возможно углубление в очко, близок к 12,9 мм; откуда имеем: Отношение $\frac{12,9}{13,8} = 0,93$
		—	—	—	—	—	—	3 000	2	192	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	3 900	3	200	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	4 000	4	232	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	4 800	5	252	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	5 400	6	284	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	5 400	7	—	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	5 400	8	—	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Начало заедания		—	—	—	—	—	—	—	—	—	650	1	34	
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	500	—	26	
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	400	3	21	

Таблица 32 В.

О п ы т ы в о т о ч е н и я .

№№ опытов	Характеристика образца	Диаметральные размеры мм			Сечение мм ²			Толкающее усилие кг	Длина протянутой части	Давление кг/мм ² уменьшения сечения	Усилие в цилиндрической части отверстия при заедании			Примечание
		Начальный диаметр	Диаметр после пропуска	Уменьшение диаметра	Начальное	После пропуска	Уменьшение				Усилие	Длина цилиндрической части	Усилие на мм ²	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
5	Железный	11,6	10,85	0,75	106	92	14	1 800	1	128				Отношение $\frac{10,85}{11,6} = 0,94$
		—	—	—	—	—	—	2 000	2	142	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	2 060	3	148	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	2 500	4	178	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	2 700	5	193	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	2 700	6	193	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	2 700	7	193	—	—	—	
6	Заедание Железный	13,6	12	1,6	145	113	32	—	—	—	400	—	28	Образец раздавился Отношение $\frac{12}{13,6} = 0,88$ Отношение $\frac{10,8}{11} = 0,98$
		—	—	—	—	—	—	4 000	1	125	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	5 200	2	162	—	—	—	
7	Тоже	11	10,8	0,2	95	91	4	300	1	74,5	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	500	2	124	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	900	5	225	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	1 200	9	300	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	1 200	10	300	—	—	—	
	Заедание	—	—	—	—	—	—	—	—	—	500	1	124	
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	400	2	100	
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	300	6	74,5	
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	300	10	74,5	
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	300	15	74,5	
8	Железный	47,3	46,85	0,45	1.757	1.720	37	8 000	1	215	9 000	1	240	Усилие протяжки . . . 350 кг Среднее трение . . . 200 „ Полезное усилие . . . 150 кг Отношение $\frac{46,85}{47,3} = 0,985$
		—	—	—	—	—	—	10 000	4	270	6 800	3	184	
		—	—	—	—	—	—	13 000	14	350	5 000	8	135	
		—	—	—	—	—	—	13 000	24	350	3 000	23	80	
		—	—	—	—	—	—	13 000	38	350	—	—	—	
9	Тоже	47	46,8	0,2	1.735	1.720	15	6 000	4	400	5 000	1	334	Усилие протяжки . . . 400 кг Среднее трение . . . 300 „ Полезное усилие . . . 100 кг Отношение $\frac{46,8}{47} = 99,2$
		—	—	—	—	—	—	6 000	4	400	4 000	9	267	
		—	—	—	—	—	—	6 000	30	400	4 000	25	267	

Таблица 33 А.

Опыты волочения с толкающей оправкой.

Характеристика образца	№ последователь- ных пропусков	Диаметры очка и оправки	Сечения очка и оправки	Разность сечения	Разность сечений образца	Высота образца	Углубление	Нагрузка	Сопротивление кг/мм ² уменьшения сечения
Медная цилиндрическая штамповка из кружка диаметром 45 мм и толщиной 3 мм.	1	33,7 26	892 530,8	361,2		18,7	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20	80 110 130 210 280 380 430 600 800 1 200 1 350 1 660 1 860 2 160 2 200 2 200 2 200 2 100 1 700 1 500	
Резкое углубление до 20 мм.	2	32,3 25,3	819,4 502,8	31,66	44,6	19	1 2 3 4 5 6 7 8	700 1 100 1 100 1 100 1 000 900 850 800	24,6
Резкое углубление до 8 мм.	3	31 24	756,6 452,4	304,2	12,4	20	1 2 3 4 5	500 700 750 850 700	68,5
Резкое углубление до 5 мм.	4	30 23	708,7 415,5		11	20,5	1 2 3 4 5 6 7 8	440 540 650 650 700 750 700 650	68,5

Таблица 33 В.

Опыты волочения с толкающей оправкой.

Характеристика образца	№№ последователь- ных пропусков	Диаметры оча и оправки	Сечения оча и оправки	Разность сечений	Разность сечений образца	Высота образца	Углубление	Нагрузка	Сопротивление кг/мм ² уменьшения сечения		
Медная цилиндрическая штамповка из кружка диаметром 45 мм и толщиной 3 мм.	5	29,2	669,7	272,1	21,1	21,5	1	550	39 39		
		225	397,6				2	680			
							3	680			
							4	720			
							5	820			
							6	820			
							7	720			
							8	620			
							9	500			
	6	28,4	633,5	270,5	1,6	22	1	450	47,5		
		21,5	363				2	660			
							3	680			
							4	680			
							5	760			
							6	760			
							7	760			
							8	760			
							9	760			
							10	680			
							11	650			
							12	620			
							13	600			
							14	560			
							15	500			
	7	27	372,6	225	55,5	22,5	1	400	9,7		
		21	347,6				2	450			
							3	460			
							4	470			
							5	480			
							6	500			
							7	520			
							8	540			
							9 до				
							15	540			
	8	26	530,9	216,7	8,3	23	1	500	86		
							20	314,2		2	720
										3	720
										4	600

Таблица 33 С.

Опыты волочения с толкающей оправкой.

Характеристика образца	№№ последователь- ных пропусков	Диаметры оча и оправки	Сечения оча и оправки	Разность сечений	Разность сечений образца	Высота образца	Углубление	Нагрузка	Сопротивление кг/мм ² уменьшения сечения
Медная цилиндрическая штамповка из кружка диаметром 45 мм и толщиной 3 мм.	9	25 20	491 314,2	176,8	39	25	1	940	65,5
							2	1 520	
							3	1 680	
							4	1 960	
							5	2 200	
							6	2 300	
							7	2 480	
							8	2 540	
							9	2 540	
							10	2 560	
							11	2 560	
							12	2 560	
							13	2 600	
							14	2 620	
							15	2 600	
							16	2 200	
							17	1 800	
	10	24 20	452,4 314,2	138,2	38,6	32	0,5	700	76
							1	2 000	
							2	2 500	
							3	2 850	
							4	2 950	
							5a	2 960	
							13	2 960	
							14	2 850	
							18	2 740	
							19	2 600	
							20	2 500	
							21	2 400	
							22	2 000	
После отжига образца	11	23 20	415,5 314,2	101,3	36,9	41	0,5	400	73
							1	920	
							2	1 980	
							3	2 600	
							4	2 650	
							5a	2 700	
							31	2 700	
							32	2 500	
							33	2 400	
							34	2 000	
							35	1 600	
							37	1 100	
							38	420	11,4
							39	410	

Таблица 33 Д.

Опыты волочения с толкающей оправкой.

Характеристика образца	№№ последо- вательных пропу- сков	Диаметры оча и оправки	Сечения оча и оправки	Разность сечений	Разность сечений образца	Высота образца	Углубление	Нагрузка	Сопротивление кг/мм ² уменьше- ния сечения
Медная цилин- дрическая штам- повка из кружка диаметром 45 мм и толщиной 3 мм.	12	22 20	880,2 314,2	66	35,3	54	0,5	1 400	60
							1	1 950	
							2	2 140	
							3	2 140	
							4	2 145	56
							5	2 120	
							6	2 100	
							7	2 050	
							8	2 000	48
							9	1 900	
							10	1 800	
							11	1 800	
							12	1 800	42
							13	1 760	
							14	1 760	
							15	1 760	
							16	1 720	48
							17	1 720	
							18	1 720	
							19	1 720	
							20	1 700	42
							21	1 680	
							22	1 680	
							23	1 660	
							24	1 660	42
							25	1 650	
							26	1 640	
							27	1 630	
							28	1 620	42
							29	1 620	
							45	1 620	
							46	1 500	
							47	1 300	42
							48	900	
После отжига образца	13	21,6 20	366,5 314,2	52,3	13,7		0,5	600	87,5
							1	820	
							2	1 000	
							3	1 200	
							4	1 200	
							5	1 200	
							6а	920	
							34	920	

ного образца — 23 мм. Нагрузка достигла максимума в 2660 кг при углублении образца в очко на 5 мм. Разрыв произошел при углублении образца в 15 мм при усилии в 1950 кг, чему соответствует сопротивление в 30 кг/мм² сечения.

Этот разрыв соответствует пределу сопротивления неотожженного металла. Точно так же обстоит дело и с трещинами, которые зарождаются после нескольких пропусков, когда металл получит значительный наклеп. Во избежание этих недостатков не следует допускать при волочения начерно больших уменьшений диаметра и вместе с тем следует отжигать заготовку после каждого пропуска.

Пределы уменьшения наружного диаметра можно рассчитать, исходя из сопротивления сжатию оправки диаметром d и сопротивления изделия вытягивающему усилию при диаметрах d и d' очка. Напишем следующее уравнение:

$$\frac{\pi d^2}{4} R_e = \frac{\pi (d'^2 - d^2)}{4} R_t,$$

$$\frac{d^2}{d'^2 - d^2} = \frac{R_t}{R_e}.$$

Для стали при красном калении $R_t = 15$ кг/мм², а потому, если сопротивление R_e оправки равняется 45 кг/мм², будем иметь, что

$$\frac{d^2}{d'^2 - d^2} = \frac{15}{45} = \frac{1}{3},$$

откуда

$$d' = 2d.$$

ГЛАВА VI.

Процессы гiba.

Постепенное изгибание изделия, переходящее за предел упругости металла, приводит к целому ряду процессов, как-то: изгибу по определенной кривой, выправке, гибу коленом, разгибу, гибу складками, образованию продольных складок, гибу и разгибу валками, навивке, гибу штампованием посредством ударов молотками и помощью пуансонов и матриц, и другим.

Если изгиб не слишком крутой, то поперечное сечение изделия мало изменяется (рис. 867). При крутом изгибе, т.-е. при изгибе с небольшим радиусом закругления, сравнительно с толщиной или размерами изделия, сечение последнего в направлении этого радиуса заметно изменяется. Так, например, при квадратном сечении изделия металл сжимается на его внутренней стороне, вследствие чего она принимает выпуклую форму. Наружная поверхность изделия становится при изгибе вогнутой, наружные волокна металла удлиняются, вследствие чего на наружной поверхности могут образоваться трещины и разрывы.

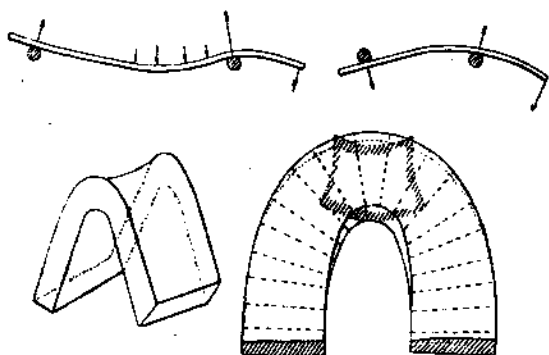


Рис. 867.

Сгибание.

Изогнутыми изделиями называют изделия, обладающие более или менее равномерной кривизной на большом протяжении их длины. Чтобы вызвать такую деформацию, достаточно поместить изделие между двумя точками опоры и воздействовать постепенным давлением на его середину или на какую-либо другую точку между опорами. После первого изгиба изделие продвигают в продольном направлении и снова подвергают давлению на некотором расстоянии от точки приложения первого давления.

Среднее потребное усилие можно приблизительно рассчитать, применяя хорошо известную формулу момента изгиба:

$$M = \frac{R_l}{n} = \frac{EI}{\rho}.$$

Опыты над гибом.

№№ опытов	Характеристика образца	Средняя прогиб	Последовательные нагрузки	Момент изгиба M в середине	Напряжение или сжатие наружных волокон $R = \frac{Ml}{I}$	Модуль упругости при изгибе, фиктивный или действительный $E = \frac{PL^3}{48\delta l}$	Примечание
1	Круглое железо диаметром — 36 мм.	1/2	3 500	175 000	38,3	14 124	Расстояние между опорами = $= L = 200$ мм
		1	4 400	220 000	48,2	8 800	
		2	5 000	250 000	54,8	5	
		3	5 300	265 000	57,0	3 530	
		4	5 600	280 000	61,2	2 800	Момент изгиба в середине образца: $M = \frac{PL}{4}$
		5	5 900	294 000	64,6	2 360	
		6	6 200	310 000	67,9	2 090	
		7	6 350	317 500	69,5	1 814	
		8	6 500	325 000	71,1	1 625	Момент инерции сечения: $J = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{3,14 \times 36^4}{64} = 82,406$
		9	6 600	330 000	72,1	1 446	
		10	6 700	335 000	73,2	1 340	
		11	6 800	340 000	74,4	1 236	
		12	7 000	350 000	76,7	1 166	
		13	7 150	355 000	77,8	1 090	Модуль сечения: $\frac{J}{n} = \frac{\pi d^3}{32} = \frac{3,14 \times 36^3}{32} = 4 577$
		14	7 200	360 000	78,9	1 030	
		15	7 300	365 000	79,9	970	Действительные или фиктивные усилия сжатия или растяжения наружных волокон среднего сечения: $R = \frac{Ml}{J} = \frac{M}{4,577}$
		16	7 400	370 000	81,0	925	
		17	7 500	375 000	82,1	882	
		18	7 500	375 000	82,1	833	
		19	7 500	375 000	82,1	789	
		20	7 600	380 000	83,2	760	
		21	7 600	380 000	83,2	724	
		22	7 600	380 000	83,2	690	
		23	7 630	381 500	83,3	663	
		24	7 670	383 500	83,7	640	
		25	7 710	385 500	84,2	610	
		26	7 750	387 500	85,0	597	
		27	7 780	389 000	85,1	578	
		28	7 810	390 500	85,6	563	
		29	7 830	391 500	85,8	542	
		30	7 850	392 500	86,0	524	

Опыты над гибом.

Таблица 34 В.

№№ опытов	Характеристика образца	Стрела прогиба	Последовательные нагрузки	Момент изгиба M в середине	Напряжение или сжатие наружных волокон $R = \frac{Mn}{I}$	Модуль упругости при изгибе, фиктивный или действительный $E = \frac{PL^3}{48fJ}$	Примечания
2	Железный брусок квадратного сечения 40×40 мм.	1/2 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19	6 000 7 000 8 500 9 500 10 300 10 900 11 500 11 700 12 000 12 500 13 000 13 200 13 500 13 700 13 700 13 900 14 000 14 000 14 000 14 000	300 000 375 000 425 000 475 000 515 000 545 900 577 000 585 000 600 000 625 000 650 000 660 000 675 000 685 000 685 000 695 000 700 000 700 000 700 000 700 000	28,2 35,2 39,8 45,1 48,4 51,2 54,0 55,0 56,2 58,6 61,0 61,8 63,3 64,2 64,2 65,1 65,7 65,7 65,7 65,7	16 660 5 770 3 325 2 473 2 010 1 704 1 473 1 308 1 172 1 084 1 017 937 882 824 765 726 680 644 618 517	$L = 200$ мм $M = \frac{PL}{4}$ $J = \frac{C^4}{12} = \frac{40^4}{12} = 213.333$ $\frac{J}{n} = \frac{C^4}{6} = \frac{40^4}{6} = 10.666$ $R = \frac{Mn}{J} = \frac{M}{10.666}$ $E = \frac{PL^3}{48fJ}$

В этом уравнении, однако, допускается, что изгиб не переходит предела упругости металла. Такое допущение не соответствует рассматриваемой операции, так как здесь стремятся получить остающуюся деформацию изделия. Тем не менее, на практике этим уравнением можно пользоваться, если для R и E брать значения, полученные из опытов сгибания, вызывающих ту же кривизну, которую требуется придать данному изделию.

Изменения изгибающих моментов и соответствующих им усилий при постоянном расстоянии между точками опоры стремятся к приблизительно постоянному значению с момента возникновения деформации. Это можно видеть по результатам опытов, приведенных в таблице 33 и на рис. 868. Таблица показывает, что при сварочном железе

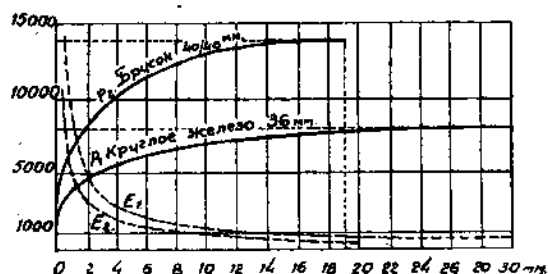


Рис. 868.

фиктивные или действительные значения величины сопротивления R могут заключаться между 25 и 100 кг, а значения модуля упругости гiba E колеблются между 15 000 и 500.

В опыте № 2 максимальное относительное удлинение достигает значения $\frac{2,2}{10} = 0,22$, соответствуя для этой разновидности железа

действительному сопротивлению растяжению, т. е. сопротивлению, отношению к сечению при нагрузке, близкой к 50 кг/мм^2 . Таким образом, в этом случае максимальные фиктивные значения R мало отличаются от их действительных значений.

Расчет работы гiba представляет для практики лишь ограниченный интерес. Операция сгибания производится постепенно при более или менее равномерных усилиях. Гиб небольших изделий часто производится между двумя опорами молотком на наковальне; эта операция производится в холодную или в горячую на круглой оправке.

Небольшие изделия изгибают между двумя развилками оправки (см. рис. 869), которую зажимают в тисках. Рабочий прилагает свое усилие к изделию или непосредственно, или пользуясь рычагом достаточной длины или специальным рычагом. На том рисунке 867 изображено несколько различных типов оправок, устанавливаемых на наковальне, зажимаемых в тисках, и несколько других инструментов этого рода. Шарнирные развилки, изображенные на рис. 870, очень удобны для гiba небольших изделий в тисках. Они дают возможность изменять расстояния между опорами. Полосы, прутья и трубы среднего размера упирают между круглыми штифтами, которые втыкают по мере надобности в многочисленные отверстия в чугунной плите (рис. 871). Если изделие слишком коротко и потому не может образовать само достаточно длинного рычага, то к нему прикрепляют рычаг, конец которого тянут веревкой, идущей к лебедке или к крюку талей. Последними пользуются в тех случаях, когда требуется приложить значительное усилие.

Точно так же пользуются целым рядом рычажных, эксцентриковых, винтовых и гидравлических прессов. На рис. 872 изображен обычный пресс с эксцентриком, установленным на вертикальном валу; последний приводится в действие рычагом. В опорной плите этого пресса имеется целый ряд отверстий для установки опорных штифтов $T'T'$.

Более равномерный гиб достигается путем применения равномерного давления, которое можно по желанию регулировать. Давление развивается винтом, который поворачивают рычагом. В сборочных мастерских широкое распространение получили винтовые прессы типов, изображенных на рис. 873—874. Более мощные и удобные ста-

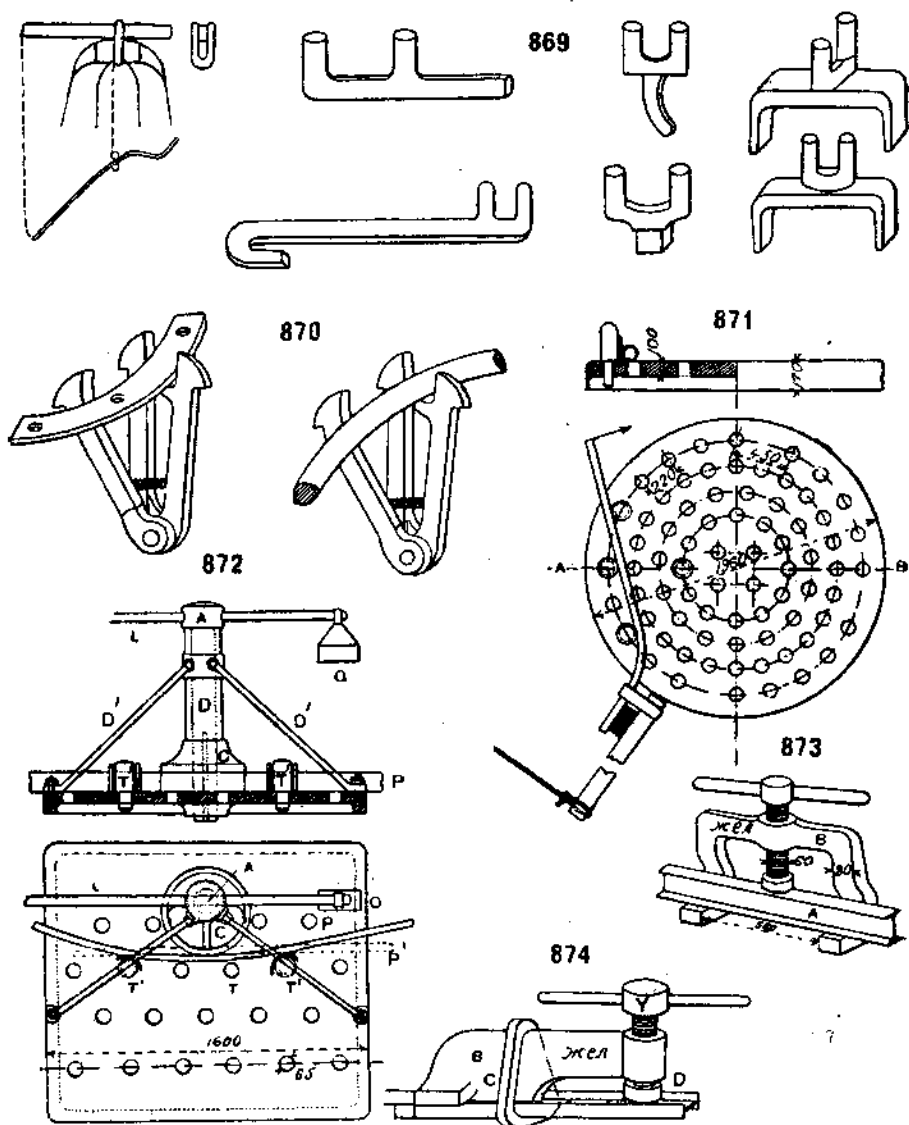
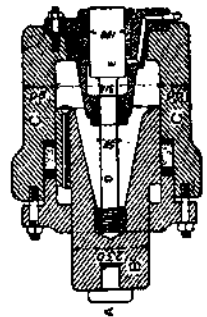
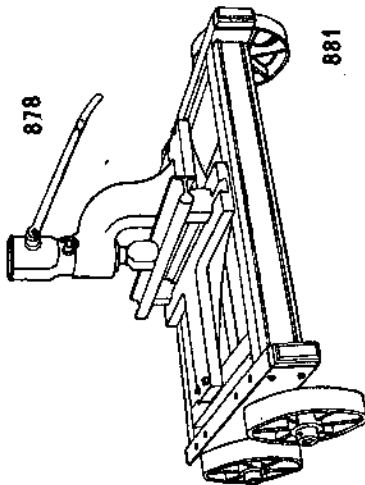
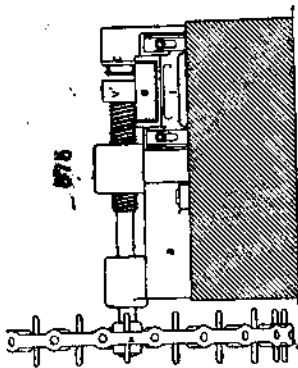
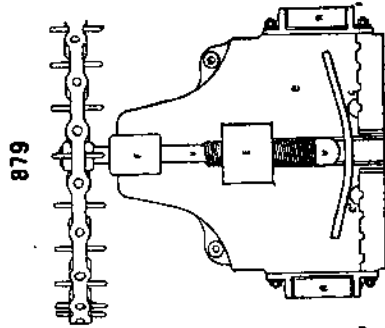
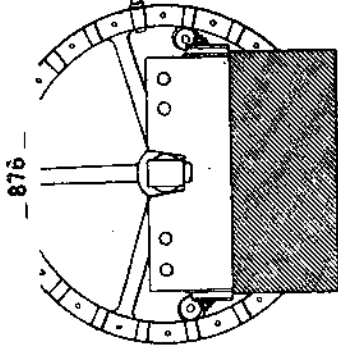
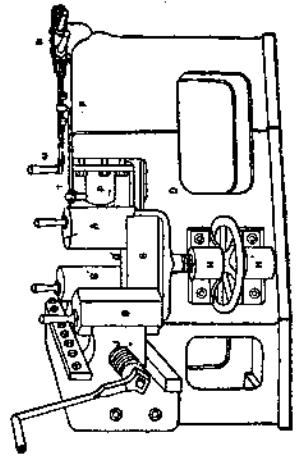
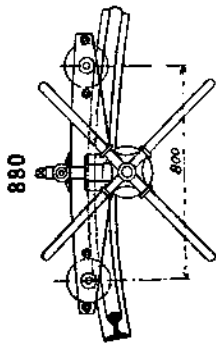
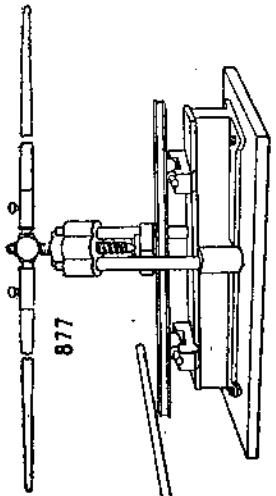


Рис. 869—874.

ционарные прессы, применяющиеся для всех обычных работ, изображены на рис. 875—879. Для увеличения усилия, развиваемого винтом, на его головку вместо рычагов надевают тяжелый маховик, аккумулирующий значительное количество энергии, для использования ее при прессовании. (Усилие такого пресса можно приблизительно рассчитать по уравнению $\frac{MV^2}{2} = Fs$, где F — усилие и s — перемещение).



Длягиба крупных изделий требуется большое усилие, а потому приходится пользоваться гидравлическими прессами в роде прессы, изображенного на рис. 882. Изделие помещают на два вала GG' , установку которых по высоте можно изменять по желанию. Изделие направляется опорами BB' , которые посредством винта можно устанавливать симметрично или асимметрично относительно оси машины.

Головка гидравлического поршня подвигает упор A к изгибаемому изделию. На рис. 881 приведен разрез гидравлического цилиндра с рабочим поршнем B и возвратным поршнем E . На чертеже можно видеть устроенный в поршне B клапан, предупреждающий образование слишком сильного противодействия в кольцевой камере:

Точно также длягиба пользуются небольшими гидравлическими прессами, вроде изображенного на рис. 878.

Гиб коленом.

Коленом называется более или менее крутой изгиб изделия, при котором деформация происходит на коротком протяжении его длины (рис. 883). В этом случае операция чаще всего производится молотком, при помощи специального загибочного штампа.

Если наружный угол колена должен образовывать острую грань, то для облегчения работы, на стороне заготовки в той точке, которая должна образовать вершину угла (рис. 886), оставляют некоторый избыток металла, достаточный для образования последнего, не прибегая к высадке металла. Этим способом пользуются при изготовлении таких изделий, как угольники, рамы, коленчатые валы, оси с несколькими коленами, которые изгибают поочередно (рис. 887).

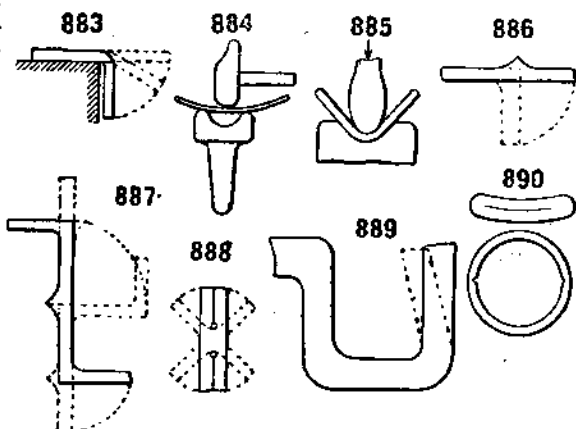


Рис. 883—890.

При ковке крестовин (рис. 888) соответствующих размеров брусков расщепляют с обоих концов, просверливая предварительно ограничивающие расщеп отверстия. После этого раздвигают расщепленные части бруска, закругляя получающийся между ними угол. Этому способу надо отдать предпочтение перед способом приварки отдельных частей крестовины.

При всякого рода гибке надо избегать перегибать изделие больше, чем то требуется. Например, в указанном на рис. 890 случае колено придется отгибать назад, рискуя при недостаточном радиусе закругления разорвать его внутренний угол.

Разгибаний или увеличений угла необходимо всегда избегать, так как металл внутри острого угла часто подвергается сильному сжатию. Кроме того, вследствие излишнего перегиба угла, металл вблизи его вершины подвергается относительно большему растяжению, вызывающему разрывы. Всякий процесс, связанный с разгибом, всегда дает большое количество брака. Так, например, если изделие выделяется из заготовки плоского сечения (рис. 890), то операции, связан-

ные с разгибом ее в кольцо, всегда вызывают трещины в металле, несмотря на всю тщательность выполнения работы. При такого рода работах надо особенно избегать пользоваться гранеными оправками.

При значительном производстве одинаковых изделий, гиб производят на машинах и под прессами, пользуясь штампами соответствующей формы (рис. 891). Таким образом изготавливают стропильные и другие скобы, а также различные скобяные изделия.

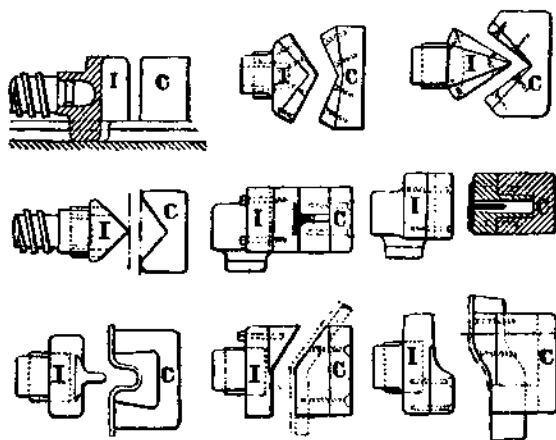


Рис. 891.

Изображенная на рисунке 892—893 машина Даниэля пригодна длягиба квадратного железа до 70 мм в стороне, круглого железа диаметром до 80 мм и профилей высотой до 80 мм.

Если требуется получить колено более прочное в закруглении, приходится прибегать к двум операциям и двум нагревам. Первая операция (рис. 892) заключается в том, что прямую заготовку высаживают в месте предполагаемого изгиба. Для этой операции закрепляют неподвижно червячный

сектор *F* и сцепляют маховиковую рукоятку с конической шестерней большого приводного колеса салазок *G*, перемещающихся прямолинейно. Разогретое до-бела железо захватывают двумя парами зажимов *I*, не допускающих сдвига его при высадке.

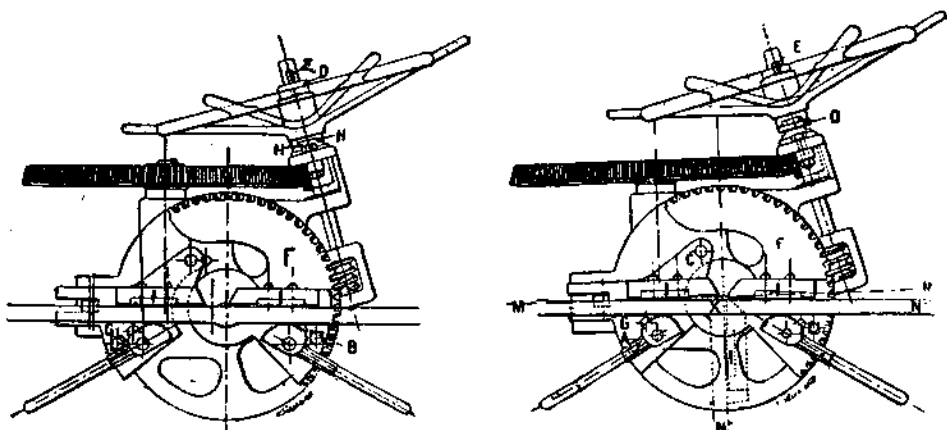


Рис. 892—893.

Высадка производится парой насеченных кулачковых рычагов *LL*. Вторая операция (рис. 893) заключается в том, что на машину ставят матрицу длягиба и вновь закрепляют раскаленное до-бела железо зажимами *I*. Салазки *G* закрепляют неподвижно.

После этого расцепляют коническую шестерню и сцепляют маховик с валом червяка, вращающего червячный сектор *F*. Последний

поворачивают на определенный угол, в зависимости от кривизны изгиба изделия, которое затем выравнивают при том же нагреве.

Эта машина дает возможность получать правильные изгибы и высадки, облегчающие сварку. Несколько образцов такого рода работ изображено на рис. 894.

При сгибании полосы углового сечения полка, перпендикулярная плоскости изгиба, изгибается легко; что же касается второй полки, в которой происходит сильное сжатие металла, то во избежание брака ее необходимо изгибать в несколько нагревов.

Гиб полых изделий, как, например, труб, возможен только в том случае если трубу заполнить несжимаемым материалом, противодействующим местной деформации, вызывающей сплющивание стенок в месте изгиба. Кроме того, такого рода гиб всегда производится со значительным радиусом закругления. При гibe железных труб довольствуются песком, нагретым или холодным, в зависимости от того, производится ли операция в холодную или в горячую (рис. 897). Трубы должны быть хорошо сваренные. Трубы, сваренные впритык по образующей, при небольшом радиусе изгиба часто лопаются по шву. Для гiba медных труб пользуются смолой, которую наливают в расплавленном состоянии и таким же способом удаляют после операции.

Заполненную каким-либо материалом трубу можно

гнуть как обыкновенное круглое железо, и если при этом загибе получаются неровности, то их выправляют легкими ударами молотка. Оporожнив трубу, через нее прогоняют под гидравлическим давлением калибрующийся железный шар.

Гораздо лучше, однако, пользоваться пружинной оправкой, вроде изображенной на рис. 896¹⁾. Оправка состоит из спиральной пружины из закаленной стали, квадратного сечения, с плотно сближенными витками. Для сгиба трубы в нее вводят подобную оправку, соответствующего диаметра. Поперечное сопротивление оправки не допускает сплющивания трубы, а гибкость пружины позволяет изгибать трубу вместе с оправкой даже под малым радиусом закругления.

При вынимании оправки ее вытягивают, закручивая пружину ключом, вследствие чего диаметр ее уменьшается. Гиб труб производят на тех же описанных выше машинах, которые снабжаются головками и штампами, сходными с таковыми гидравлических прессов (рис. 898). Если на трубе образуется значительная складка, металл осаживают молотком, пользуясь при этом гладилками.

Такой простой способ, однако, не пригоден для гiba тонкостенных труб большого диаметра (рис. 899), так как металл не сжимается на стороне малого радиуса изгиба. Трубу на внутренней стороне

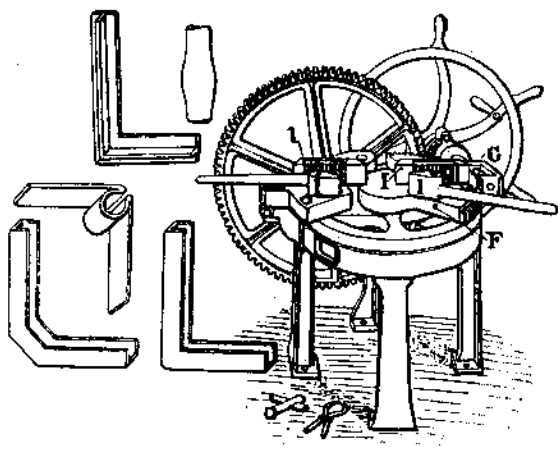


Рис. 894—895.

¹⁾ Оправка Орум.

изгиба приходится собирать в складки. Для этого пользуются машинами, вроде изображенной на рис. 900 и 901 ¹⁾. Труба *T* охватывается двумя стальными дисками *LL*, из которых один укреплен

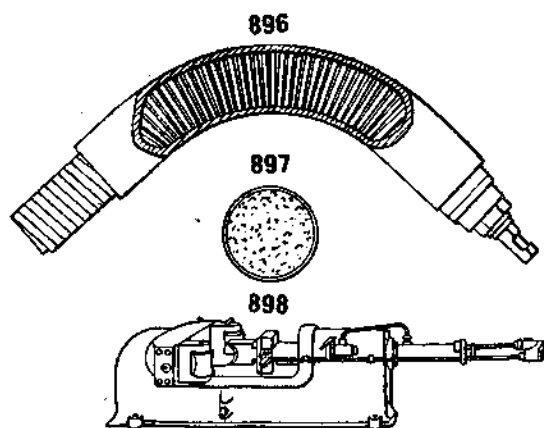


Рис. 896—898.

неподвижно к головке станины *H*, а другой к рычагу *J*. Вал *A*, который вращают рукояткой *C*, проходит через длинную полую оправку, головка *F* которой соответствует внутреннему диаметру трубы, так же как и головка *F'*, укрепленная к ней болтами. Между головками *F* и *F'* на эксцентричной шейке *E* установлен стальной диск *M* с закругленной кромкой. Вследствие эксцентриситета диска *M* и вала *A*, при каждом повороте диска на внутренней стороне колена образ-

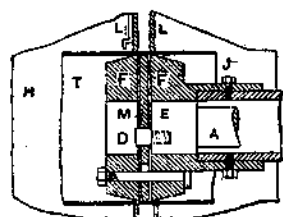
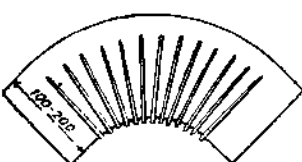


Рис. 899—901.

Таков принцип этой машины, которую обычно снабжают вспомогательными механизмами для равномерной подачи трубы *T* после каждой операции. На этом процессе мы остановимся детально в главе о производстве труб.

Гиб валками.

Гиб валками представляет частный случайгиба вообще. При этом процессе изделия придают правильную цилиндрическую или коническую форму.

Этим способом обычно пользуются в тех случаях, когда приходится изгибать большое количество изделий.

Операции производятся на специальных загибочных валковых машинах.

Более или менее плавный загиб полосового железа производится также прессами, молотками, колотушками на соответствующих оправках, в несколько последовательных операций.

¹⁾ Машина Хаддена (Haddan).

Однако, лучшие результаты получаются при гйбе на машинах, действующих непрерывным давлением. Особенное распространение процесс гйба на валках получил при изгибании листов котельного железа для изготовления котлов, резервуаров и т. п.

Этим же способом загибают тонкие листы при изготовлении из них труб, состоящих из одного или нескольких звеньев.

При холодном или горячем гйбе на валке молотком или коло-тушкой, заготовку помещают на установленную на козлах оправку цилиндрической формы, кривизна которой больше кривизны изделия (рис. 902 и 903). Можно также

пользоваться оправкой штам-пом, на которую помещают изгибаемый лист или полосу. На лист сбрасывают валок или оправку соответствующего диаметра (рис. 904). Точно так-же можно пользоваться прес-сом (рис. 905). Оправка в этом случае часто представ-ляет собой валок с шейками на обоих концах (рис. 903). Если длина изделия доста-точна, чтобы образовать рычаг, то гйб производят без рычагов; если же сопротивле-ние требует более значитель-ного изгибающего усилия, то к изделию присоединяют рычаг. Изделие упирают на валок и на чугунную плиту или на другой упор (рис. 906). Опера-ция производится в не-сколько приемов, передвигая заготовку по длине после каж-дого частичного изгиба.

При сгибании листов на опорной плите укрепляют качающийся рычаг, который опу-скают на лист и сгибают послед-ний по оправке (рис. 907).

Лист затем выравнивают на оправке молотком.

При сгибании тонких листов в валке устраивается продольная прорезь, в которую вводят одну из кромок листа (рис. 908). Валок помещают в цилиндрической форме, с достаточным зазором между ними. При вращении валка, лист наматывается на него.

Во избежание трения об упорную поверхность, послед-нюю устраивают также в виде валка, вращающегося на цапфах (рис. 909).

Во избежание смятия кромки листа, на валке устанавливают про-дольную планку *T*, зажимающую кромку листа (рис. 910).

В устройстве, изображенном на рис. 912, полуцилиндрическая оправка *M* закреплена неподвижно. Валок *R* установлен между двумя рычагами *I*, поворачивающими его шейки. Поворачивая рычаг в соот-ветствующем направлении, лист, кромка которого закреплена, сги-бается по оправке.

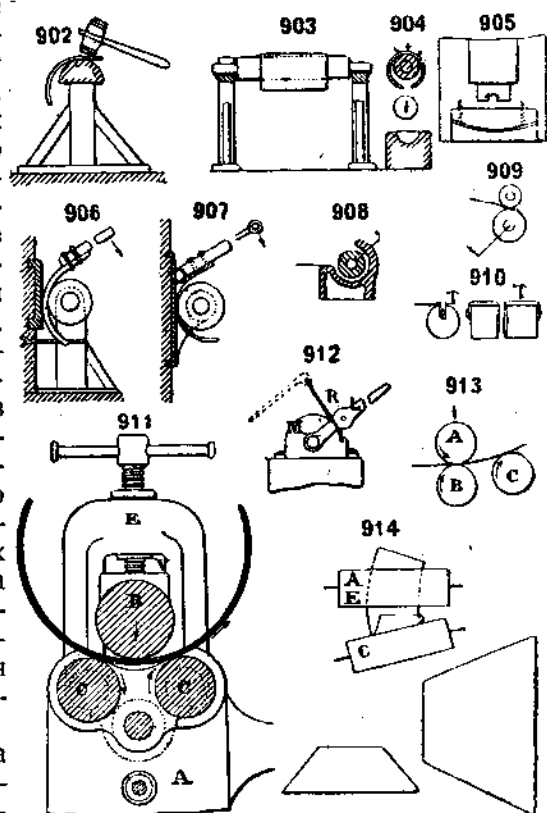


Рис. 902—914.

Другой процесс, основанный на вращательном движении инструментов, заключается в том, что лист или полосу устанавливают на два валка *СС* (рис. 911), вращающиеся в одном и том же направлении. Третий валок *В* вращается в обратном направлении и, перемещаясь вертикально, давит на середине расстояния между валками *СС* и вызывает изгиб, кривизну которого можно регулировать по желанию винтом *У*. Кривизна изделия зависит от взаимного положения валков *СС* и валка *В*. Операция производится постепенно, в несколько последовательных пропусков. Для сгиба в кольцо валок *В* устанавливают таким образом, чтобы можно было легко снимать готовое изделие.

На этом принципе основано устройство целого ряда загибочных машин. Заметим, что изделие увлекается сцеплением его с валками *СС*, возникающим вследствие реакции изделия на эти валки.

Иногда, если сцепление изделия с валками недостаточно, между ними получается скольжение, которое предупреждают, устраивая на ведущих валках продольные насечки и посыпая соприкасающиеся поверхности валков и изделия песком.

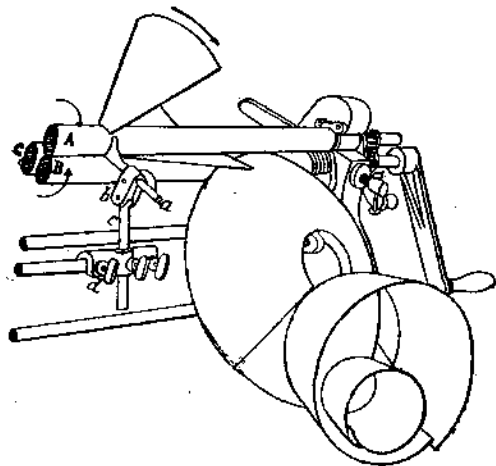


Рис. 915.

Так как сумма реакций на валки *С* больше давления на валок *В*, то лучшие результаты получаются в том случае, когда ведущими валками являются валки *С*. Валок *В*, имеющий вертикальное перемещение, вращается вхолостую, вследствие трения об изделие. Другого рода устройство (рис. 913) заключается в том, что изделие крепко зажимают между двумя ведущими валками *А* и *В*. Кривизну придает валок *С*. Таким образом при сильном зажиме изделия между валками *А* и *В* можно избежать скольжения.

Такое устройство особенно пригодно для сгибания листов, так как последние обладают небольшой упругостью. Вследствие этого реакции их оказываются недостаточными для увлечения изделия в загибочном аппарате, основанном на принципе, изображенном на рис. 912.

Такое устройство пригодно также для сгибания листов в конические кольца, для чего валок *С* наклоняют относительно двух других (рис. 914).

Можно видеть, что конец валка *С*, ближайший к двум валкам *А* и *В*, образует большую кривизну, нежели более удаленный конец, вследствие чего изделие принимает постепенно изменяющуюся кривизну, т.-е. коническую форму с тем большим наклоном, чем больше угол между осями валков.

Лист предварительно вырезают по форме развернутого изделия.

Таким образом выделяются все изделия воронкообразной формы, свертываемые из одного листа. На этом принципе основана небольшая загибочная машина, изображенная на рис. 915, служащая для сгибания абажуров. Эта машина может послужить прототипом для всех машин, назначенных для сгибания крупных частей котельных изделий.

Вальцовки длягиба сортового и фасонного железа.

Машины или вальцовки для сгибания полос небольших размеров очень просты. Они приводятся в действие вручную или посредством трещоток, или же рукоятками и зубчатыми передачами.

Валки или инструменты, служащие длягиба, так же как и загибочные машины делаютя различного устройства в зависимости от формы сечения железа. Валки длягиба плоских полос делаютя плоскими, а для выгиба в поперечном направлении фасонного железа и в них устраивают ручки соответствующей формы.

Старый способ приведения в действие загибочной машины рычагами, изображен на рис. 916—917.

На валках *F* установлены кольца *H*, которые по желанию можно раздвигать в зависимости от ширины фасонного железа, как, например, углового железа, помещаемого между ними. Нажимной валок устроен точно так же. Опоры валков *F* можно переставлять для изменения расстояния между ними. Валок *B* можно переставлять вертикально винтом *V*, развивающим необходимое длягиба давление. Два

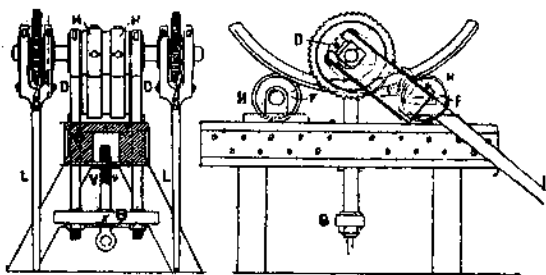


Рис. 916—917.

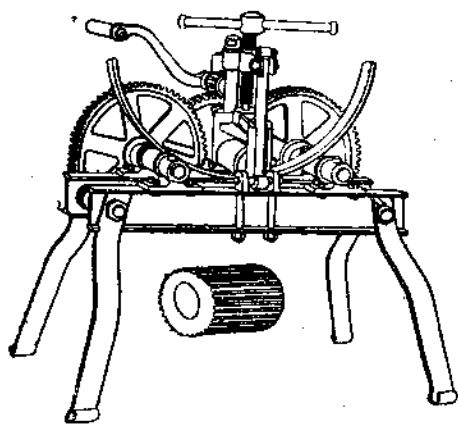


Рис. 918.

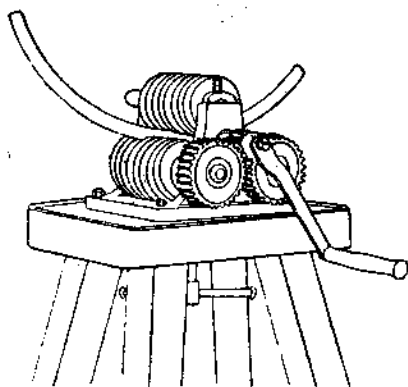


Рис. 919.

рычага с трещотками служат для поворачивания валка *B*, увлекающего и изгибающего изделие. (Этот тип машин в настоящее время интересен лишь с исторической точки зрения).

На рис. 918 изображена небольшая вальцовка длягиба плоских полос, как, например, шинного железа. Обычно для такого рода полос упорные валки устраиваются с рубцами по образующим для увеличения трения, которое должно быть достаточным для увеличения изделия, т. е. для преодоления трения шеек нажимного валка, а также сопротивления изделия изгибу.

Если полосу изгибают в поперечном направлении (рис. 919), то в валках устраивают ручьи, задерживающие ее с боков; для предупреждения же скольжения посыпают песком.

Длягиба таврового железа на ведущих валках устраивают ручьи, в которых могла бы поместиться вертикальная полка, при чем нажимной валок действует на наружную поверхность горизонтальной полки (рис. 920). Валки делают из двух или нескольких частей (рис. 921), чтобы ими можно было пользоваться длягиба полос разных размеров и сечений. На осях валков устанавливают кольца, которые укрепляют винтами. Изменяя расстояние между кольцами, можно также гнуть двутавровое железо, как в плоскости ножки, так и в плоскости полков (рис. 922).

Установлено, что двутавровое железо гнется лучше круглого или квадратного железа; однако, при неправильной установке валков относительно друг друга часто получается изгиб по спирали.

Коробчатое или швеллерное железо сгибают также между валками с ручьями (рис. 923), при чем боковые полки направляют внутрь или снаружу валка, в зависимости от направлениягиба.

Гиб углового железа производится с трудом, если его изгибают поштучно, тогда как при одновременном изгибании двух полос (рис. 925) обыкновенно получается симметричное сечение и достигается более правильная кривизна.

На рис. 926 изображен способгиба и закрепления изделий шарнирными скобами с винтами, направляющими полосу и регулирующими изгиб.

Если угловое железо изгибают под некоторым углом, то валку *A* придают ромбическое сечение (рис. 927), а на валках *BB'* делают такой же формы ручьи. В этой машине, валки *BB'* могут занимать каждый два положения относительно валка *A*, являющегося ведущим валком. Последний, сцепляясь с угловым железом, должен преодолевать трение валков *BB'* и сопротивление изгибу. Для изгибания полос различного сечения, валки устраивают с несколькими ручьями, как, например, изображено на рис. 928¹⁾. Такие валки приводятся в действие механически, ремнями и шкивами, вращающими их по желанию в обоих направлениях. Верхний валок имеет вертикальное движение, давление производится винтами *VV'*. Длягиба карнизного железа пользуются валками, форма которых соответствует профилю последнего (рис. 929)²⁾.

Небольшие вальцовки, приводимые в действие ременной передачей или вручную, требуют небольших усилий. Они работают быстро и точно, если валки их в точности параллельны друг другу. При усилии на рукоятку такой вальцовки не свыше 10 кг можно загибать бандажи толщиной 30 мм и шириной 80 мм в два или три пропуска.

Вертикальное расположение валков (рис. 930) применяется для равномерности сгибания и позволяет снабжать машину столом, на котором помещают изделие, направляя последнее таким образом, чтобы оно не могло получить спиральной формы.

На рис. 931 и 932³⁾ изображена машина длягиба разного рода железа. Вместо того, чтобы класть полосу на стол, ее кладут на ролики *R*, чем облегчается ее перемещение.

Изделие вводят между валками *AA'*. Нажимной валок *A* быстро приводится в соприкосновение винтом *V*, приводимым в движение ру-

¹⁾ Конструктор Бухей (Bouhey).

²⁾ Конструктор Бухей.

³⁾ Конструктор Бухей.

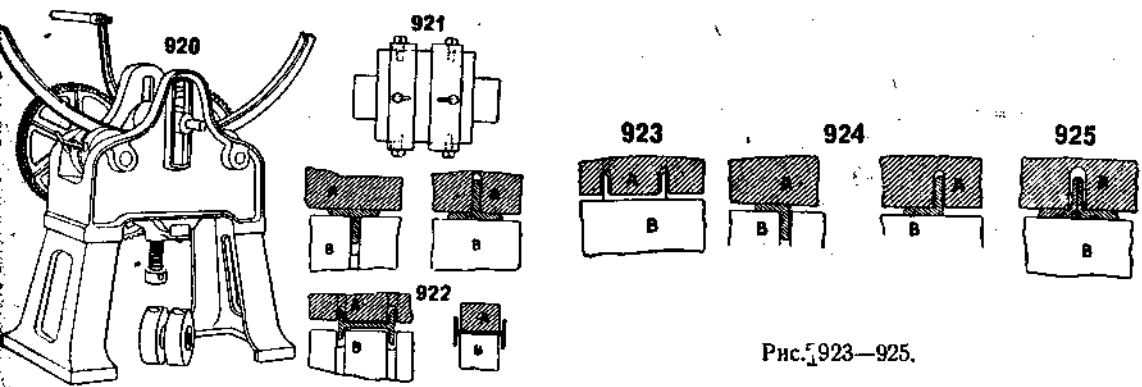


Рис. 920—922.

Рис. 923—925.

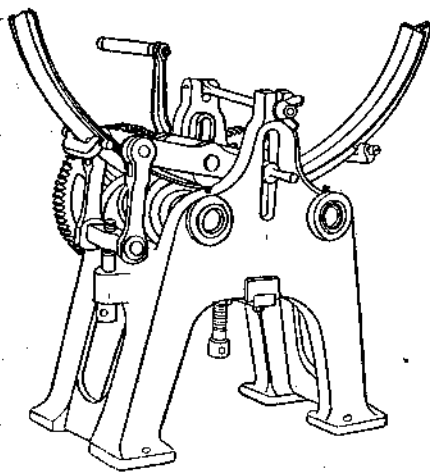


Рис. 926.

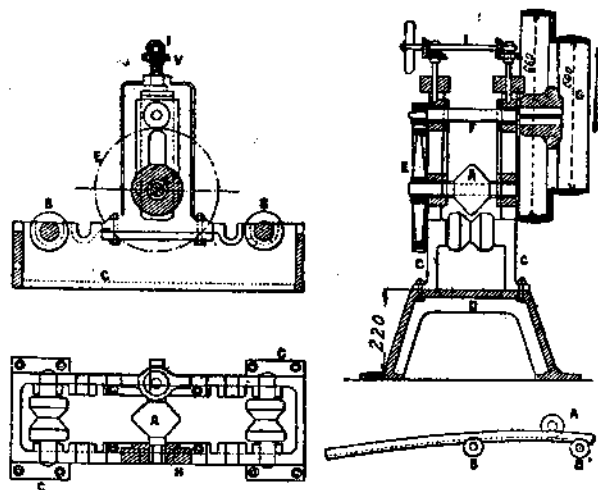


Рис. 927.

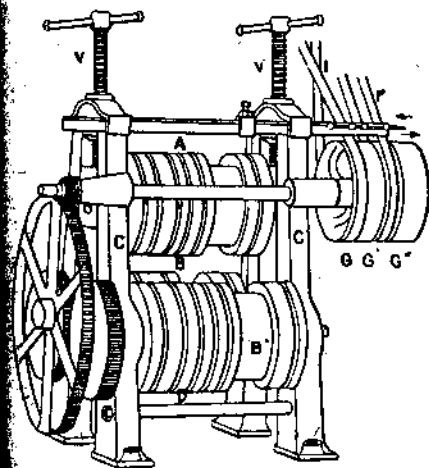


Рис. 928.

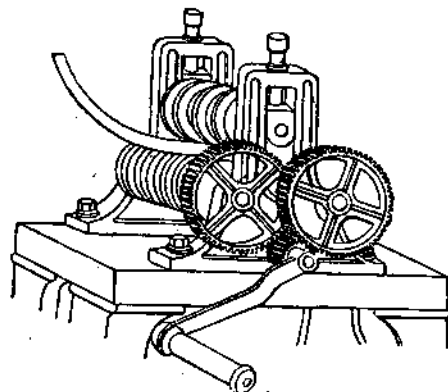


Рис. 929.

кояткой *M* и вызывающим давление. Последнее при надобности усиливают, пользуясь трещоткой с рычагом *L*, установленным также на винте *V*.

Оба валька *AA'* приводятся во вращение шестернями, соединенными с другими частями трансмиссии и допускающими вращение валков в обоих направлениях по желанию, при помощи одного только ремня и трех шкивов *PP'P''*.

На рис. 933 изображен гиб на подобного рода вальцовке углового железа в котельной мастерской завода Галловея.

Вальцовки длягиба тонких листов.

Для изгиба тонких листов и полос при небольшом диаметре загиба применяются очень простые машины или вальцовки с одним валком (рис. 934 — 935).

Кромку листа или полосы вводят между валком и полуцилиндрической матрицей (рис. 933). Валок приводится во вращение шестернями, установленными на обоих концах во избежание скручивающих усилий. Обе шестерни вращаются одним валом с рукоятками *dd* на концах.

Иногда (рис. 936) кромку стола вальцовки делают острой, а не закругляют, что позволяет крутой угловой загиб листа, необходимый при соединении взхлестку (в фальц).

Для свертывания очень тонких ровных труб пользуются вальцовкой с несколькими валками (рис. 937).

Металлическую полосу помещают между валками *C* и *D* (рис. 938 — 939), после чего поднимают рычаг *L* и приводят в соприкосновение валки *B* и *E*. Последние развивают достаточное давление и крепко прижимают металл к валку *C*, служащему оправкой.

Для свертывания небольших конических изделий, машину снабжают тремя конусами *a, b, c*. Лист пропускают между валками *a* и *b*, которые увлекают его. Конус *c* можно переставлять по желанию, изменяя таким образом кривизну загиба.

Горизонтальные вальцовки длягиба котельных листов.

Гиб листов на валках вызвал появление целого ряда специальных машин, устройство которых зависит от характера сгибаемых на них изделий. С этими машинами мы встретимся в дальнейшем при описании различных специальных процессов.

Первые валковые машины или вальцовки длягиба котельных листов были сходны с такими же машинами для сгибания тонких листов.

Таким образом была устроена старинная машина Леметра, служившая для изгибания листов в полуцилиндры (рис. 941 — 942).

Изгибающий полувалок *R*, диаметр которого равнялся требуемому диаметру загиба и который можно было по желанию заменять, был установлен на трубе *A*, состоящей из двух чугунных муфт, стянутых между собой винтами и закрепленных на валу *B* шпонками. Такое устройство позволяло снимать эти муфты, если требовалось загибать лист по небольшому диаметру.

На валу *B* была также установлена поперечина *C*. Расстояние между этой поперечиной и полувалком *R* можно было изменять соответственно толщине листа *T*, чтобы последний плотно прижимался к полувалку *R*. Сгибаемый лист помещался на роликах стола *D*. При

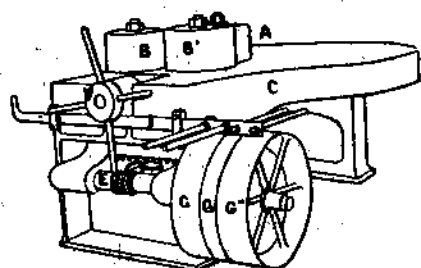
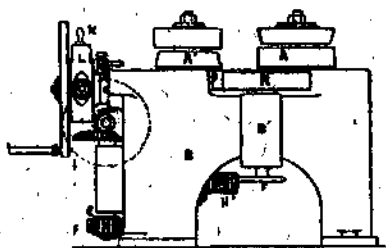


Рис. 930.

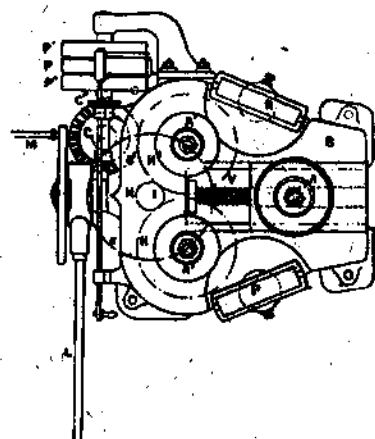


Рис. 931—932.

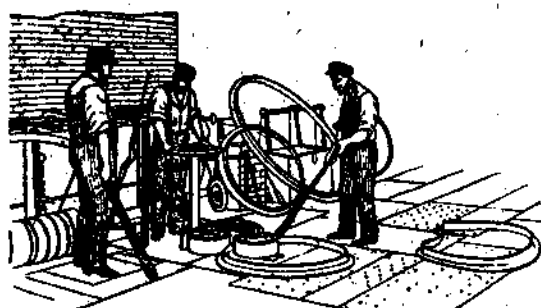


Рис. 933.

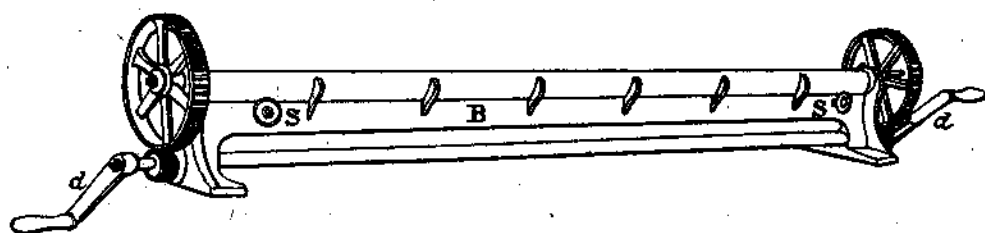


Рис. 934.

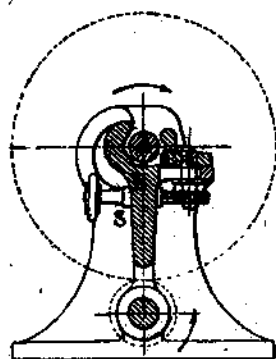


Рис. 935.

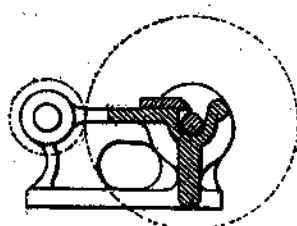


Рис. 936.

повороте вала *R* ролик, поднимавшийся зубчатой рейкой *E* и рычагами *F*, прижимался к нагретому листу и производил равномерный изгиб. Операция заканчивалась в один пропуск.

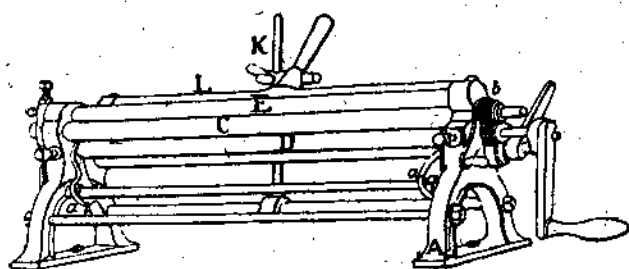


Рис. 937.

Современные вальцовые машины длягиба котельных листов устроиваются с несколькими валками.

Машина, изображенная на рис. 943—948¹⁾, построена на принципе увлечения листа двумя валками *A* и *B*, вращающимися с одинаковой скоростью в противоположных направлениях. Третий валок *C* дает изгибающее усилие. Валки *A* и *B* приводятся в действие зубчатыми колесами с одинаковым количеством зубцов. Вертикальное перемещение вала *A* рав-

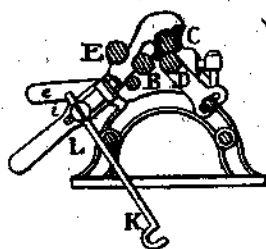


Рис. 938.

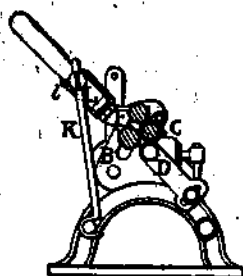


Рис. 939.

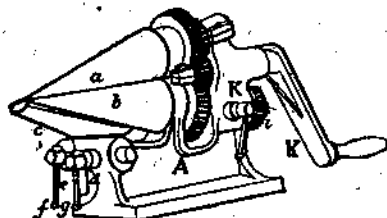


Рис. 940.

няется несколькими миллиметрами. Лист зажимается валком *A*, лежащим в подшипниках *H*, а последние переставляются посредством винтов *E*.

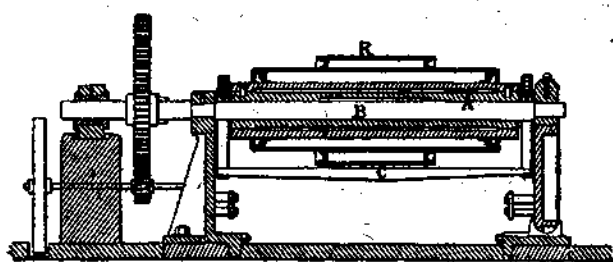
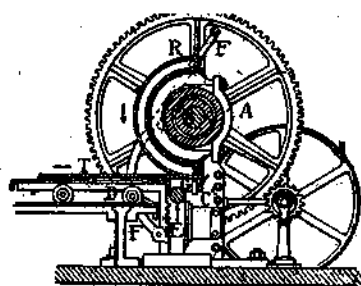


Рис. 941—942.



Валки *A* и *B* приводятся во вращение промежуточными шестернями и двумя ремнями, прямым и перекрещенным, работающими один на шкив *P*, а другой на шкив *P'*, придающим таким образом валкам вращение в обе стороны.

Перемещение вала *C* (рис. 944), вращающегося вследствие сцепления с листом, достигается путем нажима на подшипники *N* втулок,

¹⁾ Модель Гюен (Gouin).

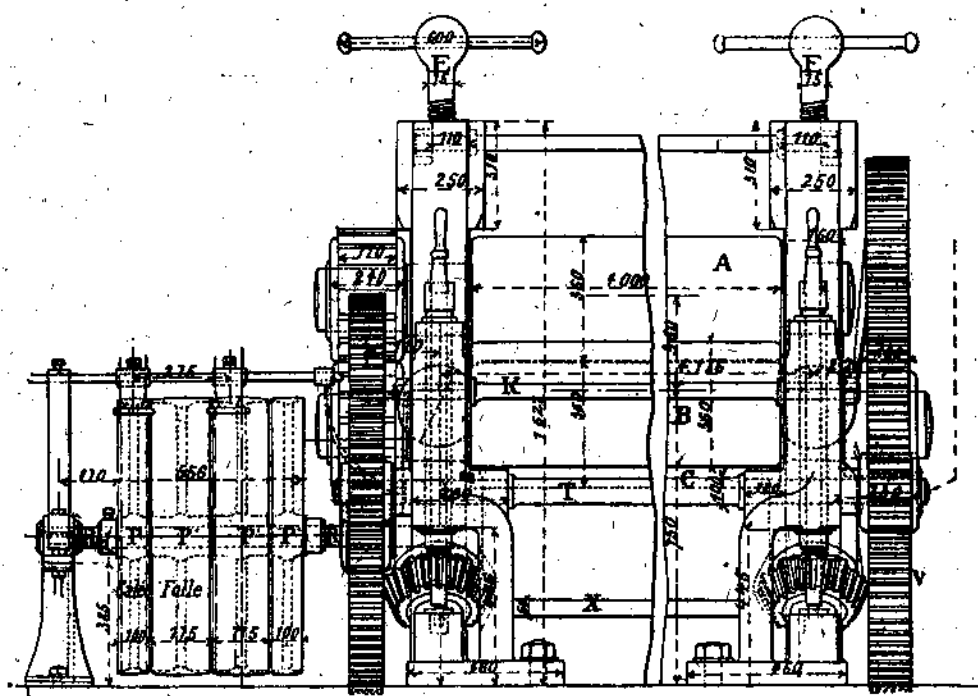


Рис. 942.

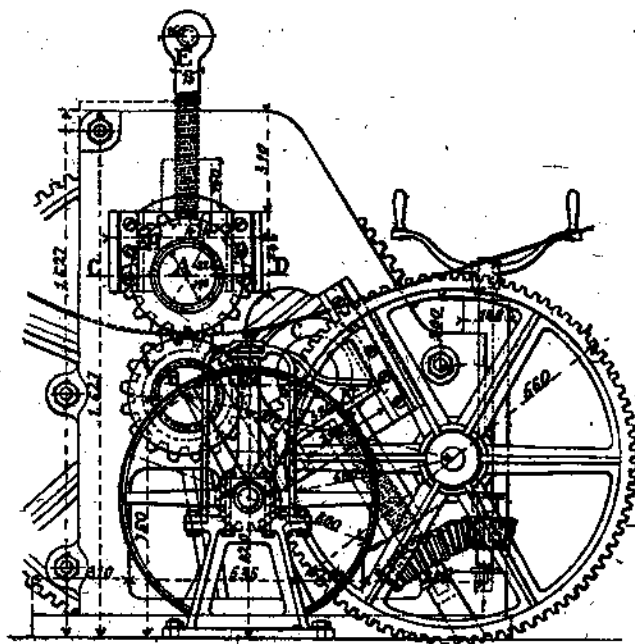
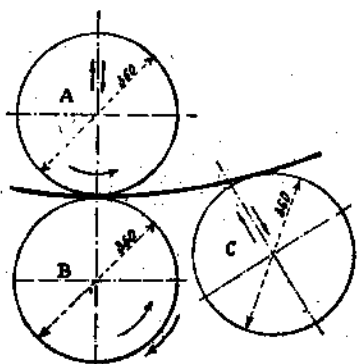


Рис. 944.

служащих гайками для винтов *J*. Последние поворачиваются коническими шестернями *KK'*, а эти вращаются рукоятками *M*.

Валок *A* этой машины расположен таким образом, что не допускает изгибания целых цилиндров, а только полуцилиндров.



Фиг. 945.

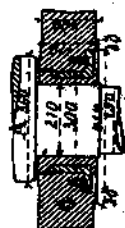
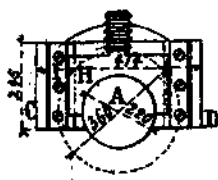
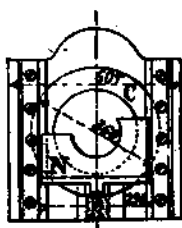


Рис. 946—948.

Вполне удовлетворительный полный загиб в цилиндр достигается в машине, изображенной на рис. 949—951¹⁾. Валок *A* можно перемещать в продольном направлении. Чтобы снять загнутый в цилиндр котельный лист, отнимают часть станины, на стороне противоположной шестерням.

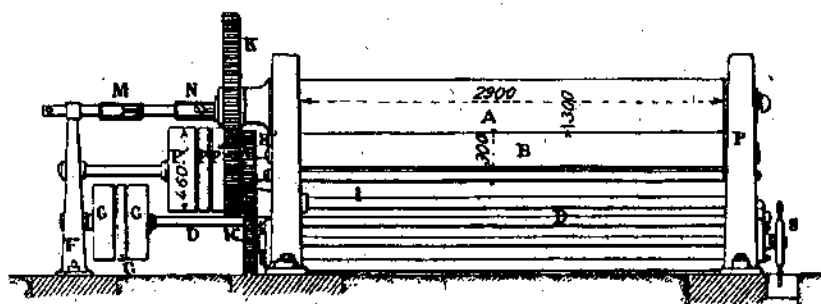
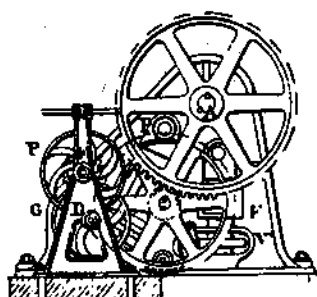
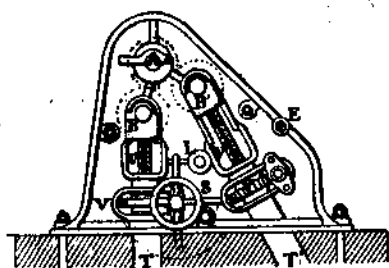


Рис. 949—951.

Заметим, что приводным валком является только валок *A*. Нажимной валок служит только для прижимания листа. Подшипники последнего валка перемещаются винтами, поворачиваемыми вручную маховичком *S* с рукоятками.

Нажимной валок *B'* (рис. 949) приводится в действие механически двумя ремнями, вращающими шкивы *G G' G''* (рис. 951), при чем

¹⁾ Конструктор Бухей.

шкив G , укрепленный на валу D шпонкой, передает движение винтовым шестерням, служащим гайками для винтов V .

Чтобы валок A не слишком отклонялся от своего направления и не оказывал слишком большой реакции на свои опоры при его продольном перемещении, для вынимания свернутого в цилиндр листа, некоторые конструкторы удлиняют вал этого валка и устраивают третий подшипник. Такое устройство облегчает также обращение с изделием, для чего обычно пользуются краном или иным подъемным приспособлением.

На рис. 952—955 ¹⁾ изображена вальцовая машина, в которой валки B и B' вращаются с одинаковой скоростью и в том же направлении посредством шестерен I' , сцепляющихся с шестерней I'' , закрепленной на валу J . Последний связан различными промежуточными механизмами с приводными шкивами P, P', P'' . Шкив P — холостой, шкив P' , укрепленный на валу N , вращает машину в течение первого периода операции, а шкив P'' , соединенный с шестерней M'' , в течение другого периода.

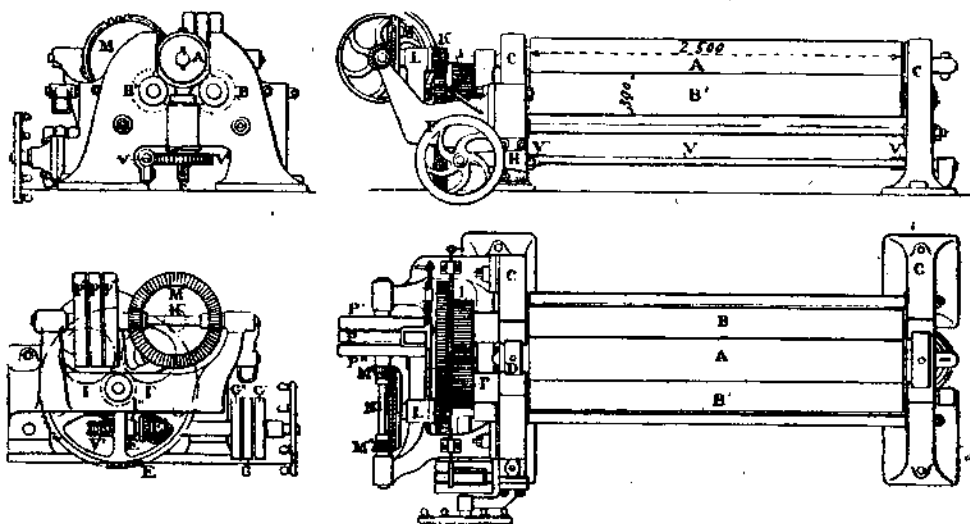


Рис. 952—955.

Давление производится верхним валком A . Его подшипники перемещаются в стойках станины; они опускаются и поднимаются одновременно, вследствие чего валки остаются параллельны между собой. Вертикальное перемещение валка A достигается механически или вручную. В первом случае он перемещается ремнем, вращающим шкивы $G'G''$ попеременно в обоих направлениях, а во втором — поворачиванием ручного маховика H , укрепленного на валу F . Вращение маховика передается посредством вала V и червяка колесам V' , установленным на длинных втулках, служащих гайками; последние вращаются во втулках станины. Правый подшипник имеет увеличенный диаметр, допускающий продольную перестановку валка A для вынимания котельных листов, свернутых в цилиндр.

Для равномерности загиба тонких листов и во избежание винтового изгиба их концов, устроен четвертый направляющий валок E (рис. 956), положение которого можно по желанию изменять при каждом пропуске по мере загиба листа. На этой схеме вальцовой заги-

¹⁾ Модель Бухей.

бочной машины видно, что верхний валок *C* служит в качестве ведущего валка, валок *D* в качестве зажимного валка, а валок *B* — в качестве нажимного валка, производящего изгиб листа.

Такое расположение особенно удобно для сгибания листов в конуса, так как валки *B* и *E* легко устанавливаются под углом к двум другим валкам.

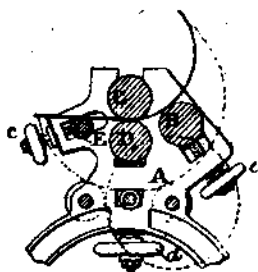


Рис. 956.

Размеры валков вальцовок длягиба котельных листов, достигают длины 4,5 м, равной длине стола, а диаметры их колеблются от 400 до 600 мм.

Для сгибания броневых плит (толщиной от 40 до 150 мм) строят мощные вальцовые машины по типу, изображенному на рис. 955 и 956, с ременным приводом или работающие непосредственно от реверсивной паровой машины.

Сгибаемые листы во избежание перекосов необходимо вводить в машины перпендикулярно осям валков.

При сгибании целой партии листов одинаковой толщины, с одинаковой кривизной загиба, необходимо отмечать положение валков при последнем пропуске.

Так как вальцовая загибочная машина недостаточно загибает концы листов, то их приходится загибать ударами молота с большим плоским бойком. Листы перед загибом нагревают до красного каления и готовят захваты на оправке. При хо-

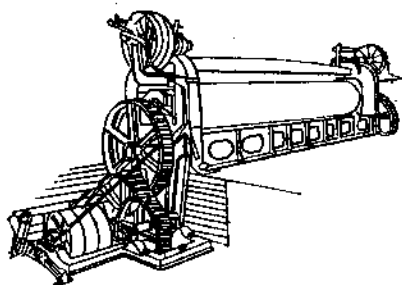


Рис. 957.

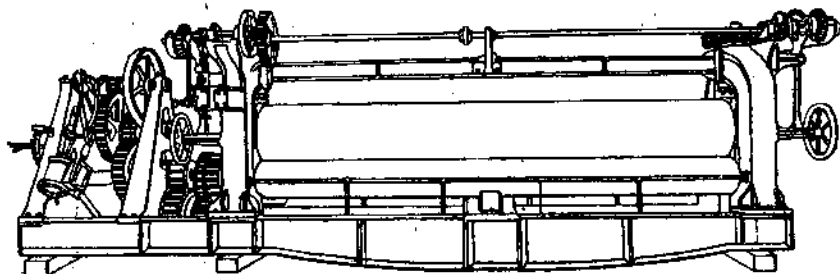


Рис. 958.

лодном гibe листа, просверленного отверстиями для заклепок, по этой линии часто получаются незаметные трещины, которые постепенно увеличиваются при употреблении изделия и представляют серьезный недостаток этого процесса.

Вертикальные вальцовки длягиба котельных листов.

При сгибании толстых длинных листов необходимо устранять влияние их собственного веса, который направлен то в сторону способствующую изгибу, то в сторону обратную. Это обстоятельство вызывает сильную усталость валков, разрыв которых часто приводит к несчастным случаям.

С этой целью устраивают машины с вертикальными валками (рис. 959).

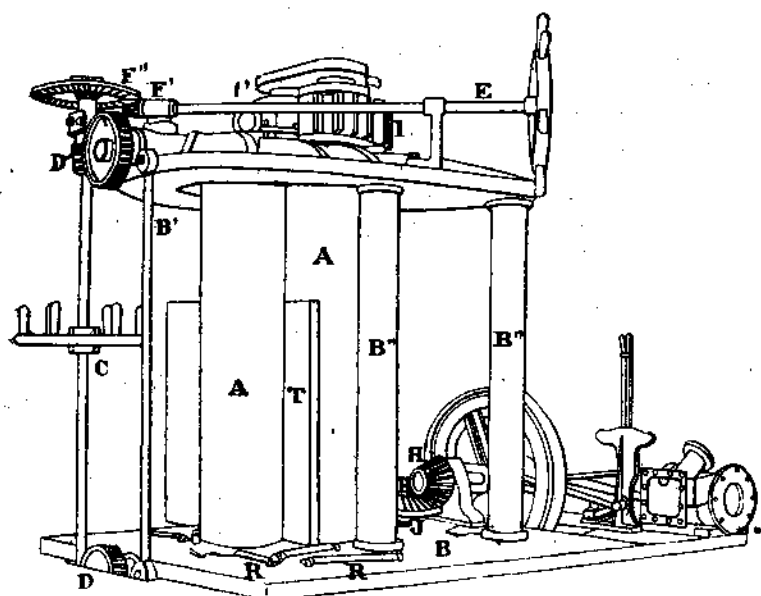


Рис. 959.

Такие машины приводятся в движение непосредственно сцепленными с ними реверсивными паровыми машинами.

Машины имеют два ведущих вала с надетыми на них шестернями. Последние сцепляются с шестернями, установленными на том же вертикальном валу. Этот вал сцепляется промежуточными валами с валом двигателя.

Передвижение третьего вала достигается вспомогательным приводным механизмом, одинаковым с таким же механизмом машин горизонтального типа.

На рис. 960 изображена разновидность такого рода машины¹⁾.

Диаметры валков вертикальных машин достигают 1000 мм, а длина их — от 3,0 до 4,0 м.

В вертикальную машину лист подают перпендикулярно упорному столу, вследствие чего можно меньше опасаться перекосов, нежели в горизонтальной машине.

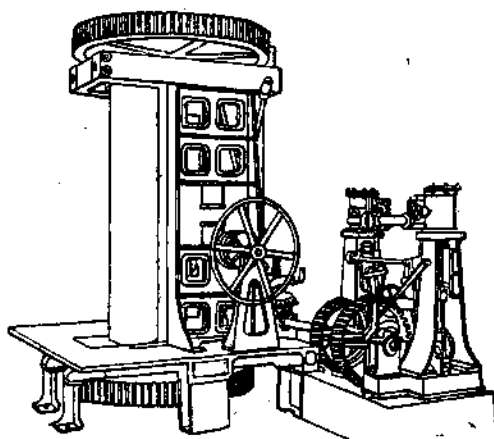


Рис. 960.

Гиб листов на оправках.

Если листы загибают по дуге менее 180°, то можно пользоваться цилиндрической оправкой (рис. 961) и соответствующей матрицей А. Лист Т обычно нагревают до красного каления, затем кладут его на матрицу и действуют на него оправкой. Последняя изгибает лист

либо действием собственного веса при падении с некоторой высоты, как то делалось в старину, либо же под действием пресса, развивающего достаточное давление.

Последний процесс успешно применяют при сгибании значительных партий листов. Так, например, при постройке моста через реку Форс (Forth), состоящего из склепанных труб, пользовались гибочными штампами (рис. 962 и 963), приводимыми в действие четырьмя мощными гидравлическими прессами.

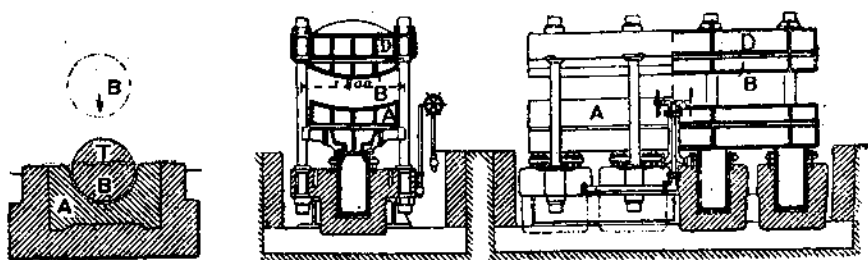


Рис. 961—963.

Нижний штамп лежал на головках поршней и перемещался вертикально.

Верхний штамп был укреплен к колоннам пресса посредством верхней балки *D*. Штампы можно было заменять, в зависимости от кривизны загиба. На такой машине операция производилась быстрее и лучше, нежели на вальцовой загибочной машине.

Гиб листов судовой обшивки.

Для постройки железных судов требуются листы переменной кривизны. Для такого сгибания листов пользуются специальными машинами как, например, машиной, изображенной на рис. 964 и 965¹⁾. Эта машина оставляет плоской одну часть листа, а другую его часть отгибает под переменными углами, сохраняя прямолинейность образующих.

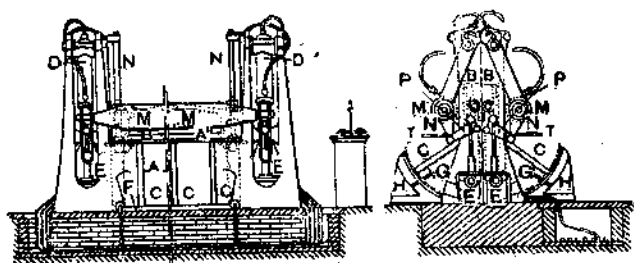


Рис. 964—965.

Машина состоит из чугунной станины *A*, верхняя часть которой образует горизонтальный стол *A'*, а боковые части образуют вертикальные стойки. В переднюю часть станины утоплены бруски *C*, верхние части которых соединены шарнирами *D*, тогда как их нижние части могут свободно упираться на поперечину *F*; концы последней поддерживаются штифтами *G*, установленными в отверстиях секторов *H*, укрепленных на каждом конце станины *A*.

Путем установки штифтов в различные отверстия секторов, можно опорной поперечине *F* придавать более или менее наклонное

¹⁾ Патент Лагана 13 сентября 1887 г.

положение и образовывать упирающимися в нее брусками *С* наклонную, косую поверхность, соединяющуюся с плоской частью листа по горизонтальной линии подвески брусков *С*, образующих как бы фасонную оправку. Эта более или менее скошенная поверхность в точности соответствует той кривизне, которую требуется придать листу *Т*, помещенному на столе *А* станины.

Поверх стола и по всей его длине помещается балка *В*, которая обоими своими концами поддерживается двумя небольшими гидравлическими прессами, укрепленными в станине. Под действием этих прессов балка *В*, направляемая скалками *Н*, может опускаться и подниматься. Она служит для зажимания на столе листов. На каждом из своих концов станина оканчивается стойками соответствующей формы, служащими для установки на них вверху гидравлического пресса *Д*, вращающегося на цапфе *О*, а внизу — второго пресса *Е*, также поворачивающегося на цапфе. Прессы *Д* связаны своими поршнями с тяжелым свободно подвешенным железным валком *М*. С этим же валком соединены поршни прессов *Е* посредством шатунов *Н* и коленчатых рычагов *Р*, колеблющихся вокруг оси *Q*.

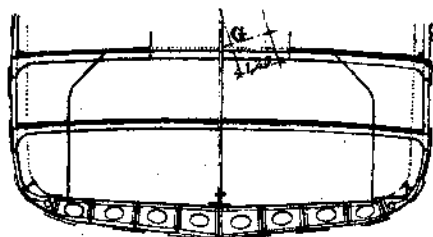


Рис. 966.



Рис. 967.

По расположению прессов и по способу соединения их с валком видно, что прессы *Е* прижимают валок *М* к брускам *С*, тогда как прессы *Д* служат для его подъема или опускания по этим брускам. Под действием этих двух сил валок *М* плотно ложится на бруски *С*, придавая листу требующуюся форму.

Для работы поперечину *В* устанавливают таким образом, чтобы крайние упирающиеся в нее бруски *С* образовывали с краем стола соответствующий угол. Все промежуточные бруски располагаются при этом под соответствующими углами и упираются на эту поперечину.

Нагретый лист помещают на стол *А* в указанном на рис. 964 положении, после чего опускают балку *В* для задержания его на месте и приводят в действие прессы *Д*

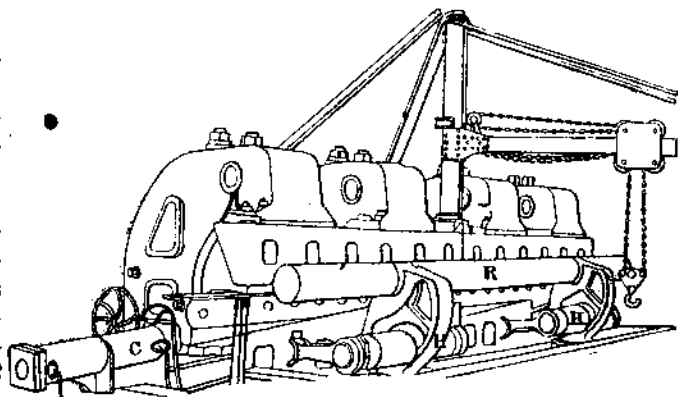


Рис. 968.

и *Е* при помощи рычагов. Валок приходит в движение и, опускаясь, изгибает лист в определенную форму.

Машина иногда строится двойной (рис. 965); в этом случае она может сгибать листы симметрично. Такого рода листы встречаются в судовых обшивках (см. рис. 966 и 967).

Опишем также устройство машины, изображенной на рис. 968¹⁾ и применяющейся длягиба листов подводной части судовой обшивки.

Валок *R* установлен на головках двух гидравлических поршней *НН* посредством шаровых шарниров, которые дают возможность поднимать один из его концов выше другого для придания листам требующейся кривизны.

Для сгибания листов различной толщины изменяют положение вала так, чтобы он развивал усилие, соответствующее толщине листов. Вследствие этого валок может описывать вокруг грани обрабатываемого угла кривую, при чем развиваемое усилие остается неизменным на всем протяжении операции.

Эта машина может изгибать в холодную стальные листы длиной до 9,45 м. Станина имеет выемку, позволяющую гнуть плоские листы, оба конца которых должны загibasься. Максимальная допустимая ширина листов 1,75 м.

Листы во время операции удерживаются клиньями, приводимыми в действие гидравлическим цилиндром *C*, расположенным с левой стороны машины. Машина обслуживается паровым двигателем, насосами и аккумулятором. Листы нагреваются в газовой печи, а для подъема и укладки их устраивается гидравлический кран.

Вальцовки длягиба труб.

Для изгибания труб пользуются вальками с ручьями соответствующего размера (рис. 969). В данном случае трубы также чаще всего приходится заполнять песком или заливать смолой. Однако, если ручьи в точности охватывают трубу и притом на достаточной длине, то можно обойтись без этой предосторожности, не опасаясь сплющивания.

Для предупреждения сплющивания устраивают также промежуточный ролик *G*, поддерживающий металл сбоку.

На рис. 970 изображена небольшая вальцовка, приводимая в действие ручную. Этой машиной пользуются для изгибания железных, медных, латунных, цинковых и других труб.

Она состоит из трех валков с ручьями различных размеров. Верхний валок *A* развивает давление при поворачивании ручного маховика *a*.

Нижние валки *ВВ'* приводятся во вращение рукояткой *g*. Машины, служащие для изгибания толстых труб, приводятся в действие механически и имеют сменяемые направляющие ролики.

Гиб труб на оправке²⁾.

Равномерного и быстрого изгиба трубы можно достигнуть, вводя в нее до начала операции оправку, конец которой закруглен соответственно придаваемой кривизне (рис. 971). Трубу закрепляют неподвижно, а оправку протягивают через нее волочильным станом.

¹⁾ Конструкторы Hugh Smith et Co (Genie Civil 26 сентября 1891 г.).

²⁾ Процесс Шарпа.

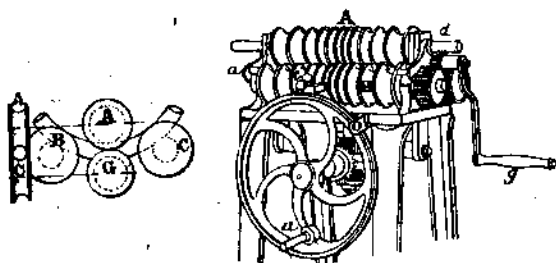


Рис. 969—970.

Получающаяся кривизна трубы соответствует кривизне конца оправки. Изогнутая часть оправки должна быть сравнительно короткой, чтобы не развивать слишком сильного трения, которое потребовало бы очень большого тянущего усилия. Изогнутую трубу можно этим же способом выпрямить, протягивая через нее прямую оправку.

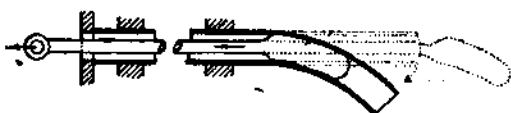


Рис. 971.

Свертывание труб на оправке протяжкой через волоочильную доску.

Тонкую плоскую полосу с несколько завернутым на цилиндрической оправке концом можно путем пропуска вместе с оправкой через волоочильную доску превратить в трубу или жолоб. Труба получается правильной в том случае, если металл между оправкой и очком слегка вытягивается.

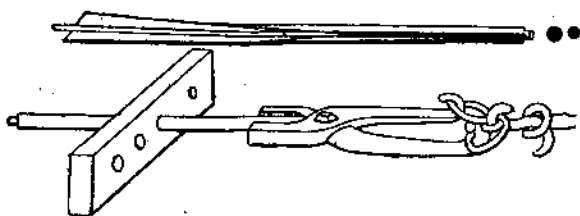


Рис. 972.

В этом процессе тянущее усилие вызывает одновременно изгибающее и сжимающее усилие.

Операция выполняется на волоочильном стане. Быстрое и равномерное свертывание трубы значительной длины производится также валками или роликами, из которых один имеет выпуклую, а другой вогнутую рабочие поверхности. Эти ролики, вращаясь, производят давление на полосу и увлекают ее, придавая форму жолоба. Машина чаще всего делается с ручным приводом, как то показано на рис. 973.

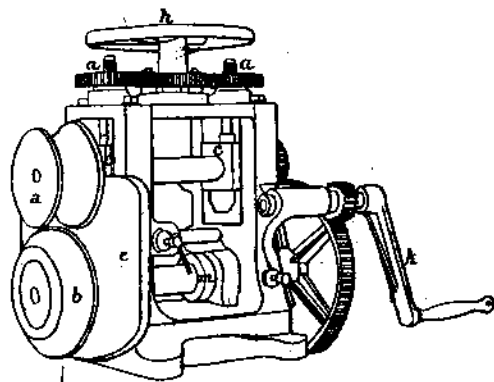


Рис. 973.

Так как эти машины снабжаются направляющими или валками достаточного размера, то на них можно также придавать заготовкам цилиндрическую или кольцевую форму.

Энергиягиба.

Работугиба можно рассчитать, пользуясь аналогией с работой при намотке полосы вокруг вала диаметром d , соответствующего необходимой кривизне, если металл не обладает упругостью (свинец, железо при высокой температуре). Если же металл сохраняет некоторую упругость, то сгибание необходимо производить на валке, диаметр которого — меньше требуемого диаметра кривизны. В этом случае величина работы увеличивается.

Рассмотрим случайгиба прямого бруска AB (рис. 974) на оправке диаметром d .

Допустим, что момент сопротивления сечений бруска — величина постоянная и что металл бруска, принявшего кривизну оправки,

совершенно потерял свою упругость. В таком случае деформация производится постоянным изгибающим моментом равным моменту сопротивления. Этот изгибающий момент можно выразить несколькими произведениями, а именно:

$$M_f = PL = P'L' = P''L'' \dots$$

Точно так же можно допустить, что момент изгиба создается постоянной силой P , действующей на конце плеча постоянной длины L .

Таким образом, если допустить, что неизгибаемая часть бруска остается прямолинейной, то работа усилия P при элементарном перемещении $MN = r d\alpha$ будет равняться:

$$dW = P \times MN = PL d\alpha = M_f d\alpha.$$

При угле α , эта работа будет:

$$W_\alpha = \int_0^\alpha M_f d\alpha = M_f \alpha = \frac{EI}{\rho} \alpha = \frac{RI}{n} \alpha.$$

Рис. 974.

При загибе, равном полуокружности $\alpha = \pi$, а потому:

$$W_\pi = \pi M_f = \frac{\pi EI}{\rho} = \frac{\pi RI}{n}.$$

Таким образом, работа гiba пропорциональна углу изгиба и моменту сопротивления.

Если назовем через $r\omega$ — скорость наматывания бруска, а через t — продолжительность загиба на угол α , то работа в одну секунду будет равняться:

$$W = \frac{M_f \alpha}{t} = M_f \omega = \frac{RI}{n} \omega = \frac{EI \omega}{\rho} = \frac{EI \omega}{r}.$$

Эту зависимость можно приложить к вращающемуся валку.

Ясно, что работа гiba зависит от скорости, так как сопротивления с увеличением скорости возрастают. Этим изменением в обычных практических условиях можно пренебречь. Если изгиб производится вращением валка, расположенного как показано на рис. 975, то к работе гiba надо еще присоединить работу трения изделия об опорную поверхность, а также работу трения на шейках валка. Назовем через QL_1 момент вращения. В этом случае можно написать что:

$$\begin{aligned} QL_1 \alpha &= M_f \alpha + Pfr \alpha + Pfr' \alpha \\ &= (M_f + Pfr + Pfr') \alpha, \end{aligned}$$

где f — коэффициент трения изделия об опорную поверхность, f' — коэффициент трения шеек, при чем мы пренебрегаем реакцией от усилия Q , направление которой не постоянно. Так как гиб на машине с тремя валками производится непрерывными периодами, то затрачиваемую для гiba энергию можно рассчитать довольно точно, пользуясь приводимыми ниже зависимостями.

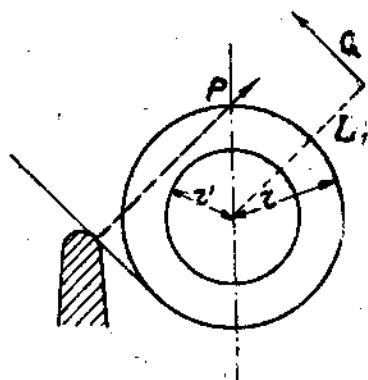


Рис. 975.

Гиб двумя опорными валками и одним нажимным валком между ними. — Рассмотрим случайгиба при установке нажимного валака A на середине расстояния между обоими опорными валками B (рис. 976).

Реакции P' на валки B равны между собой. Вследствие этого мы имеем для внешних сил следующую зависимость:

$$P' = \frac{P}{2 \cos \frac{\theta}{2}}.$$

$$P = 2P' \cos \frac{\theta}{2}.$$

Давление P вызывает реакции, обратно пропорциональные значению $\cos \frac{\theta}{2}$. Вследствие этого, для прямого горизонтального листа $P' = \frac{P}{2}$.

Реакции P' меньше при небольшом расстоянии L , нежели при большом, однако дальше мы увидим, что величина P может при уменьшении L получить большее значение.

Это расстояние при сгибании цилиндров должно быть сравнительно небольшим, чтобы можно было получить достаточную кривизну на концах изделия. В противном случае концы изделия не загнутся, а остаются прямолинейными, и их приходится загнуть ударами молотка или оправкой.

Величина давления P при гibe одинаковых изделий зависит от придаваемой изделию кривизны, от размеров последнего, от расстояния L и модуля упругости металла.

Рассматривая обе части изделия влево и вправо от оси, можно видеть, что момент изгиба, отнесенный к среднему сечению, будет:

$$M_f = P' L' = \frac{P L'}{2 \cos \frac{\theta}{2}},$$

так как:

$$L' = \frac{L}{2} \cos \frac{\theta}{2},$$

то отсюда имеем, что:

$$M_f = \frac{P L \cos \frac{\theta}{2}}{4 \cos \frac{\theta}{2}} = \frac{P L}{4}.$$

Момент сопротивления сечения равняется:

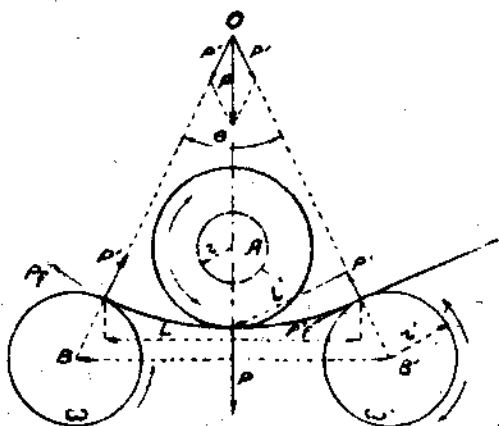


Рис. 976.

$$\frac{RI}{\pi} = M_f = \frac{PL}{4},$$

откуда:

$$P = \frac{4RI}{L\pi}.$$

Это выражение показывает, что значение P обратно пропорционально L .

Точно так же мы имеем, что:

$$M_f = \frac{EI}{\rho} = \frac{PL}{4},$$

(где ρ = радиус кривизны), а так же, что:

$$P = \frac{4EI}{\rho L}.$$

Это выражение показывает, что сопротивление изгибу обратно пропорционально радиусу кривизны. В выведенных формулах предполагается, что изделие сохраняет свою упругость и что оно принимает первоначальную форму при прекращении усилий. Вследствие этого формулы для расчета изгибающих усилий можно рассматривать только как приближенные. Тем не менее для практических целей они достаточно точны, если переменным R и E придавать значения, полученные опытным путем.

Так, например, для изгиба бруска прямоугольного сечения с размерами a и b при радиусе кривизны ρ , необходимо развить изгибающий момент $M_f = P_1 L_1$:

$$P_1 L_1 = \frac{RI}{n} = \frac{Ra^2 b}{6} = M_f$$

откуда:

$$R = \frac{6P_1 L_1}{a^2 b} = \frac{M_f n}{I}.$$

При том же радиусе кривизны и при той же толщине a листа длиной b' , подставив известное значение R , мы получим, что:

$$M_f = \frac{Ra^2 b'}{6} = P' L'$$

откуда:

$$P' = \frac{Ra^2 b'}{6L'}.$$

Допустим, что радиус кривизны равняется 2,5 м, сопротивление R холодной стали равняется 40 кг/мм². Размеры бруска и расстояние между валками равняются:

$$a = 15 \text{ мм};$$

$$b' = 2000 \text{ мм};$$

$$L' = 400 \text{ мм}.$$

Подставляя эти значения в уравнение усилия, получим:

$$P' = \frac{40 \times 15^2 \times 2000}{6 \times 400} = 7500 \text{ кг}.$$

Если

$$\cos \frac{\theta}{2} = 0,90,$$

будем иметь:

$$P = 2P' \cos \frac{\theta}{2} = 2 \times 7\,500 \times 0,90 = 13\,500 \text{ кг.}$$

Точно так же можно видеть что:

$$E = \frac{R_p}{n} = \frac{40 \times 2500}{7,5} = 13\,333.$$

Работу сгибания при первом пропуске, когда изделие имеет еще прямолинейные формы, можно рассчитать, принимая во внимание период поворота валков. Заметим, что кривизну придает только правый валок. Кривизна левого отрезка изделия не изменяется, так как здесь не существует относительного движения листа в нормальном направлении. Это можно понять, предположив, что валки вращаются в противоположном направлении.

Эти валки подвергаются только упругим реакциям, вследствие чего они не производят деформации, увеличивающей работугиба.

Точно так же надо указать, что гиб возможен в том случае, когда упругость металла достаточна, для того чтобы реакции

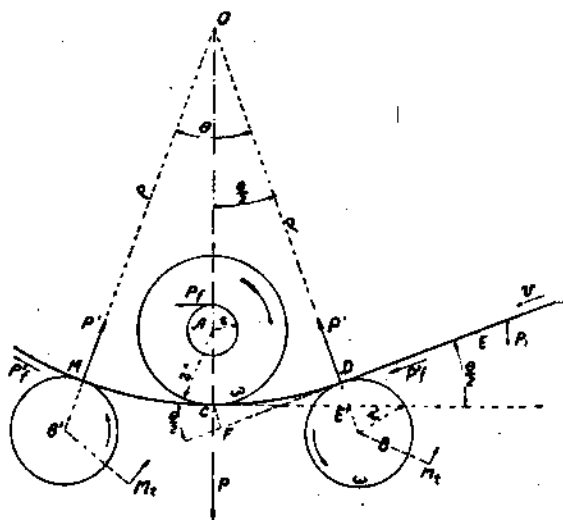


Рис. 977.

P' и P сохранили величину, обеспечивающую такое трение на ведущих валках B , которое могло бы вызвать движение изделия. В таком случае между валками и изделием будет происходить скольжение, изделие придется толкать или вытягивать, или же придется посыпать валки и изделие песком, или же, наконец, уменьшать кривизну изгиба.

Это действие упругости можно объяснить, рассматривая явления, происходящие при сгибании свинцового бруска (упругость свинца почти равна нулю). Опускание нажимного валка A вызывает изгиб бруска, при чем развиваются только реакции P , происходящие от собственного веса изделия. Такого рода реакции недостаточны, чтобы вызвать трение, необходимое для перемещения изделия.

Если допустим, что на оба валка B действует момент вращения $2M$, то работа сил сцепления $2P'f$, происходящая от реакций P' , должна быть больше работыгиба, плюс трение на шейках валка A .

Чтобы рассчитать работугиба, рассмотрим перемещение ED бруска (рис. 977), при котором точка E пришла в точку D , а точка D — в точку C . Можно допустить, что линия CD представляет отрезок окружности радиусом ρ .

Если часть бруска DE не подверглась бы изгибу, то точка D пришла бы в точку F на продолжение линии ED (т.-е. полагая, что валок B не приподнял бруска или что валок B отнят, вследствие чего точка E пришла в точку E' , после чего этот валок приподнял брусок на величину $ED = FC$).

Относительное перемещение точки D в направлении нормальном ее движению или в направлении изгиба равняется FC . Окончательная деформация бруска зависит от суммы всех таких последовательных перемещений, происходящих по мере движения бруска. Заметим, что частичные деформации производятся на бруске CD сгибающим усилием P , при чем максимальная кривизна получается в точке C . Начиная с этой точки, брусок сохраняет постоянную кривизну, если эта кривизна получилась больше на левом отрезке CM .

Работагиба, соответствующая отрезку $ED = CD$, равняется:

$$W' = P' \times FC = P' \times CD \frac{\theta}{2} = M_{f/2} \frac{\theta}{2} = \frac{R\theta}{n \cdot 2} = \frac{E\theta}{2\rho}.$$

Называя через v — скорость движения бруска, t — время прохождения расстояния ED , ω' — угловую скорость валка B , r' — радиус этого же валка, ω — угловую скорость валка A , радиусы шеек которого равняются r , будем иметь:

$$v = \frac{CD}{t} = \omega' r'$$

откуда:

$$W' = P' v t \frac{\theta}{2} = P' \omega' r' t \frac{\theta}{2}.$$

Работагиба в одну секунду будет:

$$W_{,1} = P' v \frac{\theta}{2} = P' \omega' r' \frac{\theta}{2}.$$

Работа трения на шейках валка A равняется $Pf\omega r$.
Полная работа, таким образом, выразится уравнением:

$$2P'f\omega' r' = P' \omega' r' \frac{\theta}{2} + Pf\omega r.$$

Скольжение валков начинается при равенстве обеих частей этого уравнения, т.-е. когда:

$$2P'f\omega' r' = P' \omega' r' \frac{\theta}{2} + Pf\omega r.$$

Обозначая через r'' радиус валка A , и принимая $\omega r' = \omega r''$, получаем:

$$2P'f\omega r'' = P' \omega r'' \frac{\theta}{2} + 2P' \cos \frac{\theta}{2} f \omega r.$$

Наименьшая величина трения на валках будет:

$$2P'f = P' \frac{\theta}{2} + 2P' \cos \frac{\theta}{2} f \frac{r}{r''}.$$

Отсюда видно, что значение коэффициента f не должно быть меньше величины

$$f = \frac{\theta}{4} + \frac{\cos \frac{\theta}{2} f' r}{r''}.$$

Так, например, если:

$$\frac{\theta}{4} = \frac{60^\circ \times 2 \times 3,14}{360 \times 4} = 0,26; f = 0,1; \frac{r}{r''} = 0,4$$

и

$$\frac{\cos \frac{\theta}{2} f r}{r''} = 0,86 \times 0,1 \times 0,4 = 0,034,$$

то:

$$f = 0,26 + 0,034 = 0,294$$

или:

$$f = 0,3.$$

Эти величины показывают всю важность первой части уравнения, зависящей от сгибающего усилия. Вследствие этого не следует слишком увеличивать расстояния между ведущими вальками. Приложим формулы работы к тому случаю, для которого мы нашли значения P и P' , допустив, что $\omega' r' = 40$ мм, тогда:

1) Работагиба в одну секунду равняется:

$$P' \omega' r' \frac{\theta}{2} = 7500 \times 40 \text{ мм} \times \frac{26^\circ \times 2 \times 3,14}{360} = 132000 \text{ кг. мм.}$$

2) Работа трения на шейках валька A равняется:

$$P' f \omega' r' = P' f \frac{\omega' r' r}{r''} = 13500 \times 0,1 \times 16 \text{ мм} = 21600 \text{ кг. мм.}$$

Полная работа, таким образом, будет $132 + 21,6 = 153,6$ килограмметров.

Сцепление на вальках B , при коэффициенте трения равном 0,25, может вызвать работу или может соответствовать работе в

$$2P' f \omega' r' = 2 \times 7508 \times 0,25 \times 40 \text{ мм} = 150000 \text{ кг. мм}$$

или:

$$150 \text{ кг. м} < 153,6 \text{ кг. м.}$$

При таких условиях не будет происходить увлечения изделия. Для этого пришлось бы увеличить коэффициент f сцепления. При рубчатых вальках, применяемых длягиба брусков, значения коэффициента f должно быть тем больше, чем больше давление. Этот коэффициент может достигать значений от 0,3 до 0,6 и даже выше.

Особенно надо опасаться скольжения между изделием и вальками при крутом загибе тяжелого изделия, когда оно находится в конце прохода на одной стороне вальков. Вес левого отрезка P_1 (рис. 978) вызывает вертикальные давления P_2 на валеке A и давления $P_1 + P_2$ на валеке B' . Сила $(P_1 + P_2)$ вызывает нормальную реакцию P' , увеличивающую трение валька B' , но составляющая P'' , наоборот, стремится вызвать скольжение между изделием и вальком. Кроме того, действие веса P вызывает уменьшение кривизны, при чем действие его обратно пропорционально расстоянию между вальками B' и A .

В формулахгиба мы пренебрегали этими различными факторами работы, так же как и сопротивлениями скольжения, которые к тому же имеют только небольшое значение.

Мы точно так же не принимали во внимание трения, развивающегося на шейках валков *B*, а так же не привели зависимости между работойгиба и моментами вращения двигателей. Эти факторы входят в расчет машины, а не в расчет работы инструментов.

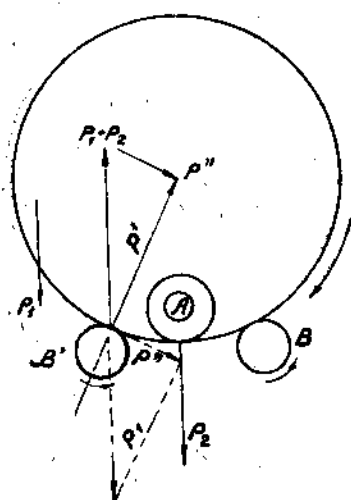


Рис. 978.

Гиб двумя зажимными валками и одним нажимным валком. — Если изделие зажимается между двумя валками *A* и *B* (рис. 979), то развивающееся в месте соприкосновения трение должно уравновешивать:

1. Горизонтальную составляющую нажимного усилия P' вала *C*.

2. Сопротивление катания изделия на валке *C*.

3. Трение на шейках вала *C*.

Сцепление между изделием и валками *A* и *B* происходит от сжимающего усилия P и для каждого вала равняется Pf . Если оба вала ведущие, т.е. оба приводятся в действие от привода, то сцепление, вызывающее движение изделия, будет равняться $2Pf$, где f коэффициент зацепления.

При одном ведущем валке сцепление равняется Pf . Это сцепление должно преодолевать, помимо перечисленных выше сил, также и трение на шейках валков *A* или *B*, вращающегося вхолостую.

Изгибающее усилие P можно вывести из уравнения моментагиба:

$$M = P'L' = \frac{EI}{n} = \frac{RI}{n}$$

откуда

$$P' = \frac{EI}{pL'}$$

Для одного и того же изделия и при той же кривизне, изгибающее усилие P обратно пропорционально L' . Таким образом, с точки зрения развития наименьших усилий было бы выгодно возможно дальше относить валок *C* от двух других. Однако, необходимо принимать во внимание, что в таком случае кривизна на концах изделия будет очень незначительной, вследствие чего желательно насколько возможно сближать валок *C* с валками *A* и *B*.

Угол между направлением усилия P' и горизонтальной линией зависит от положения вала *C*. При данном значении угла β горизонтальная составляющая равняется $P' \cos \beta$.

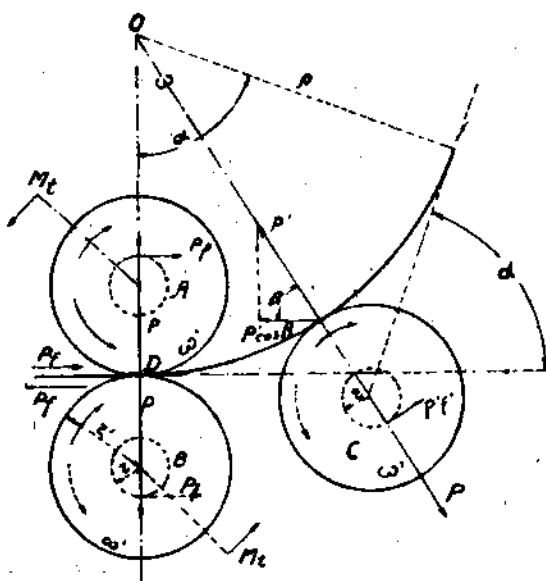


Рис. 979.

Эта составляющая тем больше, чем ближе находится валок C к валкам A и B и чем он находится выше горизонтальной линии касательной к обоим валкам A и B . Наибольшее возвышение вала C над горизонтальной линией при том же значении P' имеет место при последнем пропуске и вызывает необходимость сильного зажима изделия между валками A и B .

Заметим, что если вращение валков направлено по пунктирным стрелкам, то составляющая $P' \cos \beta$ действует в направлении, благоприятствующем движению изделия.

Сопротивлением катания изделия на валке C можно пренебречь.

Трение на шейках вала C происходит от изгибающего усилия P' , вызывающего равную реакцию, направленную в обратную сторону. Реакцией, получающейся от веса вала C , можно пренебречь.

Если мы назовем через f' — коэффициент трения, через r — радиус шеек, то трение будет равняться $P'f'$, а его момент $P'f'r$. Работа, трения соответствующая углу α , будет:

$$W_\alpha = M_\alpha = \frac{El\alpha}{r} = \frac{Rl\alpha}{n}.$$

Если эта работа происходит непрерывно в течение промежутка времени t , то работа в единицу времени будет:

$$W_c = M \frac{\alpha}{t} = M_f \omega,$$

(где ω угловая скорость относительно центра O).

Работа в одну секунду, принимая во внимание трения на шейках, если ϕ' угловая скорость валков A, B, C одинакового диаметра, а r — радиусы шеек, будет равняться:

$$W = M_f \omega + 2P'f'r\omega' + P'f'r\omega' = \frac{El\omega}{r} + f'r\omega'(2P + P').$$

Если оба вала A и B ведущие и вращаются под действием момента вращения M_p , то $W = 2M_f \omega$.

При одном ведущем валке момент вращения M' , дает $W = M' \omega$. При двух ведущих валках, в момент возникновения скольжения между валками A и B и изделием, при радиусе валков r' , работа сцепления должна по меньшей мере равняться:

$$2P'f'r'\omega' = M_f \omega + P'f'r\omega'$$

откуда:

$$P'f = \frac{M_f \omega}{2r'\omega'} + \frac{P'f'r\omega'}{2r'\omega'} = \frac{El\omega}{2pr'\omega'f} + \frac{P'f'r}{2r'}.$$

По этому уравнению можно рассчитать наименьшее значение зажимающего изделие усилия, принимая что:

$$P = \frac{El\omega}{2pr'\omega'f} + \frac{P'f'r}{2f'r'}.$$

Пользуясь этими формулами, рассчитаем элементыгиба стального листа при следующих условиях:

толщина листа:

$$a = 20 \text{ мм};$$

ширина листа:

$$b = 3\,000 \text{ мм};$$

$$\rho = 2\,000 \text{ мм}; r' = 200 \text{ мм}; r = 50 \text{ мм}; v = \omega \rho = \omega' r' = 40 \text{ мм}.$$

$$\omega = \frac{40}{2\,000} = 0,02;$$

$$\omega' = \frac{40}{200} = 0,2;$$

$$f = 0,15; f' = 0,1; L' = 400; E = 10\,000;$$

$$I = \frac{ba^3}{12} = \frac{3\,000 \times 20^3}{12} = 2\,000\,000;$$

$$M_f = \frac{EI}{\rho} = \frac{10\,000 \times 2\,000\,000}{2\,000} = 10\,000\,000 \text{ кг. мм.}$$

Изгибающее усилие равняется:

$$P' = \frac{EI}{\rho L'} = \frac{10\,000 \times 2\,000\,000}{2\,000 \times 400} = 25\,000 \text{ кг.}$$

Зажимное усилие равняется:

$$P = \frac{EI\omega}{2\rho r' \omega' f} + \frac{P' f' r}{2f r'} = \frac{10\,000 \times 2\,000\,000 \times 0,02}{2 \times 2\,000 \times 200 \times 0,2 \times 0,15} + \frac{25\,000 \times 0,1 \times 50}{2 \times 0,15 \times 200} = 16\,666,6 + 2\,083,3 \times 18\,750 \text{ кг.}$$

Сила сцепления равняется:

$$Pf = 18\,750 \times 0,15 = 2\,865 \text{ кг.}$$

Наименьшая работа сцепления равняется:

$$2Pf\omega' r' = 2 \times 2\,865 \times 40 = 230 \text{ кг. м.}$$

Работагиба равняется:

$$W_c = M_f \omega = 10\,000\,000 \times 0,02 = 200\,000 \text{ кг. мм или } 200 \text{ кг. м.}$$

Работа трения на шейках изгибающего вала, таким образом, равняется 30 кг. м.

Напряжение или сжатие наружных волокон металла рассчитывается по уравнению:

$$R = \frac{E \cdot n}{\rho} = \frac{10\,000 \times 10}{2\,000} = 50 \text{ кг./мм}^2, \text{ где } n = \frac{a}{2}.$$

Таким образом видно, что затрата энергии на сгибание сравнительно невелика, но что напряжения и сжатия металла достигают очень больших значений.

Заметим, что изгибающее усилие P' приложено к точке соприкосновения D и должно уравновешиваться зажимным давлением. Изгибающее усилие P' действует на конец рычага, образуемого изделием, и стремится развести валки A и B . Этот рычаг упирается на точки A_1 B_1 (рис. 978), которые очень близки друг к другу, вследствие чего могут развиваться очень сильные соответственные реакции P_a и P_b .

Если L_1 расстояние между точками A_1 и B_1 , то мы имеем, что:

$$P_b = \frac{P'L'}{L_1}$$

и

$$P_a = P_b + P'$$

(приблизительно). Так, например, если

$$L_1 = 40 \text{ мм};$$

$$P' = 37\,500 \text{ кг}; \quad L' = 400 \text{ мм},$$

то мы будем иметь, что:

$$P_b = \frac{37\,500 \times 400}{40} = 375\,000 \text{ кг}.$$

Отсюда вытекает, что зажим валками A и B должен быть достаточным, но изгибающее усилие вала C не должно быть слишком большим, т.е. не следует слишком круто загибать изделие; чрезмерное же давление между валками A и B вызывает сильное трение на шейках. В этом заключается неудобство такого способа расположения зажимных валков A и B .

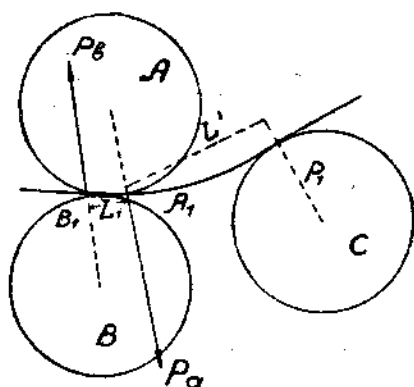


Рис. 980.

Гиб на валках в несколько пропусков.

Гиб на валках обычно производится в несколько последовательных пропусков. При каждом последующем пропуске необходимо считаться с кривизной изделия, получившейся при предыдущем пропуске. Если ρ' —радиус кривизны до рассматриваемого пропуска, ρ —кривизна, получившаяся при данном пропуске (рис. 981), то можно написать, что:

$$\frac{M_f}{M'_f} = \frac{\frac{EI}{\rho}}{\frac{EI}{\rho'}} = \frac{E\rho'}{E\rho}.$$

Если принять, что $E = E'$, то:

$$\frac{M_f}{M'_f} = \frac{\rho'}{\rho}.$$

С другой стороны мы имеем, что:

$$W = M_f \alpha$$

и

$$W' = M'_f \alpha',$$

при чем углы α и α' соответствуют одной и той же развернутой длине. Отсюда имеем, что:

$$\frac{W}{W'} = \frac{M_f \alpha}{M'_f \alpha'} = \frac{\rho' \alpha}{\rho \alpha'}.$$

$$\frac{W + W'}{W'} = \frac{\rho'a + \rho a'}{\rho a'}$$

Работа собственно гiba, потребная для увеличения кривизны изделия от начальной до окончательной, независима от числа пропусков, но не так обстоит дело с работами трений. Кроме того, упругие реакции, возникающие при каждом пропуске, почти одинаковы. Отсюда вытекает, что относительная затрата энергии на сгибание при большом количестве пропусков больше, нежели при небольшом количестве пропусков ¹⁾.

Уравнение сопротивления металла при гibe будет:

$$R = \frac{E\epsilon}{\rho} = \frac{Ea}{2\rho} = \frac{Ea}{D}$$

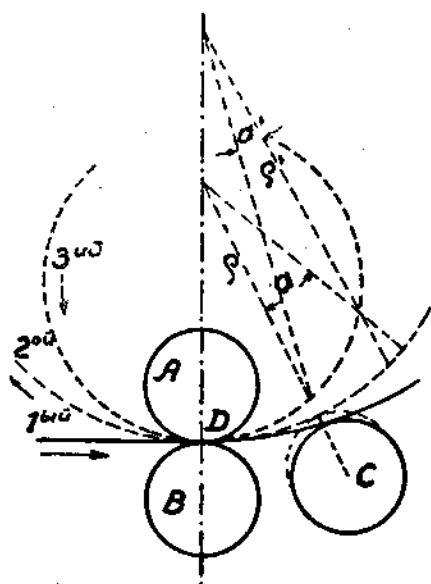


Рис. 981.

Эта зависимость указывает на влияние толщины a изделия, радиуса кривизны ρ или диаметра D сгибаемого цилиндра. Толстые изделия нельзя сгибать слишком круто, не вызывая при этом ненормальных напряжений R , вызывающих трещины. При холодном гibe стальных или железных листов напряжения в наружных волокнах часто достигают от 25 до 30 кг на квадратный миллиметр. Вследствие этого малотекучие металлы следует гнуть в горячем состоянии, имея в виду, что температура не должна опускаться ниже 308° , т.-е. критической температуры, при которой железо и сталь очень хрупки. Медь, вследствие бывших колебаний критических температур, лучше сгибать

в холодную. Отжиг восстанавливает первоначальную текучесть металла, отчасти уничтожающуюся при сгибании, и всегда благоприятствует работе, если только отжиг производится правильно. При сгибании цилиндров большого диаметра, отжиг производят в ящиках, где металл равномерно нагревается до красного каления.

Для точного расчета реакции металла в наружных волокнах, удлиняющихся на величину i на единицу развернутой длины, надо знать модель упругости E и соответствующее ему напряжение R . Эти коэффициенты можно определить испытанием металла на разрыв, при чем можно установить зависимость между усилиями, отнесенными к единице сечения, и удлинениями.

Так, например, при сгибании цилиндра диаметром 2 м из листа толщиной $a = 20$ мм, удлинение наружных волокон металла равняется:

$$i = \frac{a}{D} = \frac{20}{2000} = 0,01.$$

¹⁾ Эти теоретические рассуждения о процессах гiba на вальках, насколько нам известно, еще недостаточно разработаны, а потому мы несколько развили этот вопрос.

Такое удлинение очень текучего литого железа соответствует напряжению в 22 кг на квадратный миллиметр и модулю упругости, равному 2200 кг/мм². Эти значения получаются из равенства:

$$R = Ei = 2\,200 \times 0,01 = 22 \text{ кг/мм}^2.$$

При менее текучем металле когда, например, $E = 4\,000$, сопротивление R изгибу будет равно:

$$R = Ei = 4\,000 \times 0,01 = 40 \text{ кг/мм}^2.$$

Если стягивание кромок при сборке сопровождается натяжением листов, то принимая во внимание деформации от изгибающих усилий, наружные волокна металла будут в напряженном состоянии, близком к пределу его упругости.

Таким образом металлы, обладающие очень высокими модулями упругости E , при сгибании в холодную подвергаются большей усталости, так как напряжение в металле в этом случае может быть очень большим.

Опыты над гибом валками.

Опыты над гибом в один пропуск.—Испытательная машина имела два сжимающих вала AB (рис. 982) и третий изгибающий валок C . Валок A имел на своей оси шкив, на который наматывалась веревка, связанная с талями посредством динамометра.

Мы вводили между валками железный брусок, медленно поворачивали валок A и замечали значения P по показанию динамометра.

Затем, поворачивая валок A в обратном направлении, замечали усилие P' по динамометру. Это усилие соответствовало различным трениям, получавшимся от давлений сжатия валков, остаточной упругости бруска и других причин.

Разность $P - P'$ представляла усилие, вызывающее изгибание бруска.

В таблице 35 мы приводим результаты только нескольких из произведенных нами опытов. В этой таблице даются значения коэффициентов сопротивления изгибу и модуль упругости E , выведенные по уравнению работы на один оборот шкива с радиусом $L = 155$ мм, а именно по формуле:

$$W = 2\pi L (P - P') = \frac{RI}{n} \alpha = \frac{EI}{\rho} \alpha.$$

Все члены этого уравнения известны, исключая R и E . В этом уравнении: α — центральный угол, соответствующий дуге с радиусом ρ кривизны изделия, т. е. дуге $2\pi r$ — длине пути при одном обороте вала A с радиусом $r = 50$ мм.

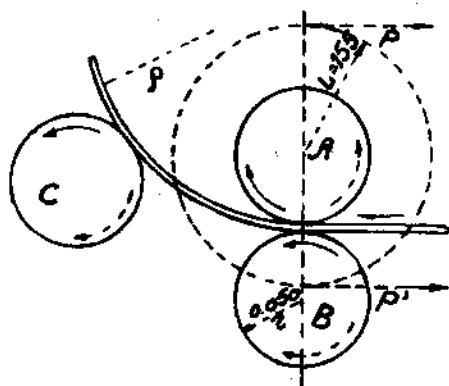


Рис. 982.

Таким образом, мы имеем, что:

$$2\pi r = \rho \alpha,$$

откуда:

$$\alpha = \frac{2\pi r}{\rho}.$$

Подставляя эти значения в уравнение работы, получим:

$$W = 2\pi L (P - P') = \frac{2\pi r R l}{\rho n} = \frac{2\pi r E l}{\rho^2},$$

откуда:

$$R = \frac{L (P - P') \rho n}{r l}$$

и

$$E = \frac{L (P - P') \rho^2}{l r}.$$

Не следует упускать из вида, что значения R и E весьма относительноны и что они позволяют только рассчитывать затрачиваемую энергию или движущие усилия.

Опыты над

№№ опытов	Значение P	Значение P'	Значение $P - P'$	Значение ρ	Величина сечения
1	105	55	50	135	23×7
2	130	50	80	95	23×7
3	110	50	60	420	40×11
4	195	100	95	250	40×11
5	190	65	125	200	40×11
6	85	50	35	200	23×7

Таким образом, в опыте № 5 относительное удлинение наружных волокон $i = \frac{11}{400} = 0,0275$, что соответствует разрывному усилию, равному $32,5 \text{ кг/мм}^2$, и модулю упругости $E = 1180$, тогда как приведенные в таблицах значения $R = 91$ и $E = 3487$, т.-е. примерно втрое больше их.

Расчитаем в виде примера затрату энергии для загиба листа шириной 1 м по окружности диаметром $2 \times 0,420 = 0,840 \text{ м}$. Толщина листа равняется 11 мм.

В таблице, опыт № 3, мы находим, что при ширине листа 0,040 усилие P должно равняться 110 кг. Вследствие этого потребуется усилие равное:

$$110 \times \frac{1,00}{0,040} = 2750 \text{ кг.}$$

Работа на один оборот валка будет $W = 2750 \cdot 2\pi L$, что соответствует длине загиба в $2\pi r$. Так как окружность цилиндра равняется πD , то работа будет:

$$\begin{aligned} 2750 \times \{2\pi L \times \frac{\pi D}{2\pi r}\} &= 2\pi L \times 2750 \times \frac{D}{22} = \\ &= 2 \times 3,14 \times 0,155 \times 2750 \times \frac{0,840}{0,100} = 22470 \text{ кг. м.} \end{aligned}$$

Если изгиб производится со скоростью в 0,01 м в секунду, то работа в одну секунду будет равняться $= \frac{22470}{84 \times 3,14} = 85 \text{ кг. м.}$ т.-е. приблизительно одной лошадиной силе.

Таким образом видим, что затрата энергии для загиба такого цилиндра не слишком велика.

Опыты над гибом в несколько пропусков.—Мы точно также произвели ряд опытов гига в несколько пропусков, с целью сравнить этот способ со способом гига в один пропуск с точки зрения коэффициента полезного действия.

Таким образом, полоса с сечением $= 23 \times 7 \text{ мм}$ требует:

при первом пропуске усилия $P - P' = 80 - 55 = 25 \text{ кг}$

„ втором „ „ $P - P' = 70 - 55 = 15 \text{ кг}$

итого 40 кг

Та же кривизна при одном пропуске получается при приложении усилия $P - P' = 78 - 50 = 28 \text{ кг}$, т.-е. усилия меньшего на одну четверть.

гибом вальками.

Таблица 35.

Значение модуля $\frac{n}{l}$	Значение $\frac{p}{l}$	R Расчитанное	E Расчитанное	Примечание
0,0053	0,20	112	4 240	При небольших изменениях скорости усилия мало изменяются. При скорости от 0,20 до 1,0 метра в минуту разности равнялись от 1 до 10 кг.
0,0053	0,15	129	3 650	
0,0012	0,09	100	7 509	
0,0012	0,06	90	4 460	
0,0012	0,045	91	3 487	
0,0053	0,30	112	6 378	

При втором опыте, при более крутом изгибе мы нашли, что:

при трех пропусках усилие равнялось $28 + 20 + 30 = 78 \text{ кг}$

„ двух „ „ „ $35 + 30 = 65 \text{ „}$

„ одном пропуске „ „ 50 „

При гиге полосы сечением $= 40 \times 11 \text{ мм}$ получились следующие результаты:

при трех пропусках усилие равнялось $60 + 50 + 50 = 160 \text{ кг}$

„ двух „ „ „ $50 + 60 = 110 \text{ „}$

„ одном пропуске „ „ 95 „

По величине усилия P' можно видеть, что гиг в несколько пропусков требует затраты энергии вдвое, втрое и впятеро большей, нежели при гиге в один пропуск.

Рассмотрим следующий случай: допустим, что требуется изогнуть железный брусок сечением $a \times b$ на обыкновенной ручной вальцовке, при чем длине l бруска соответствуют t оборотов рукоятки. Усилие, действующее на рукоятку, обозначим через P , радиус рукоятки через r , а радиус кривизны бруска — через ρ . Уравнение работы принимает вид:

$$W = 2\pi r t P = M_{\rho} = \frac{RJ}{n} a = \frac{EJa}{\rho}$$

а так как:

$$\alpha = \frac{l}{p},$$

то мы имеем, что:

$$R = \frac{12\pi r t P p}{ab^3 l}$$

В одном из опытов мы имеем, что:

$$r = 320 \text{ мм}, \quad t = 10, \quad P = 2,6 \text{ кг}, \quad p = 980 \text{ мм},$$

$$a = 65 \text{ мм}, \quad b = 25 \text{ мм}, \quad l = 95 \text{ мм}.$$

Подставляя эти значения, получим:

$$R = \frac{12 \times 3,14 \times 3,20 \times 10 \times 2,6 \times 980}{65 \times 25 \times 25 \times 95} = 79 \text{ кг/мм}^2.$$

Относительное удлинение наружных волокон металла равно:

$$i = \frac{14}{1,000} = 0,014,$$

оно соответствует при данном железе действительному тянущему усилию близкому к 22 кг, меньше фиктивного усилия в 79 кг.

Модуль упругости по расчету E будет:

$$E = \frac{R p}{n} = \frac{79 \times 980}{12,5} = 6\,200.$$

Действительное значение E в наружных волокнах будет:

$$E = \frac{R}{i} = \frac{22}{0,014} = 1\,570 < 6\,200.$$

В этом случае усилие на рукоятке, преодолевающее сопротивление трения, изгиба и упругости достигало 4,15 кг. При обратном вращении усилие равнялось 1,55 кг. Отсюда изгибающее усилие равняется:

$$P = 4,150 - 1,550 = 2,6 \text{ кг}.$$

Мы сгибали точно так же медную трубу с внутренним диаметром 80 мм, наружным диаметром в 83 мм, заполненную смолой, на машине с тремя валками, имевшими ручки. Принимая отношение скорости приложенного усилия P к скорости перемещения трубы равным 50, мы получили следующие значения P , соответствующие различным последовательным радиусам кривизны.

Радиус кривизны ρ м . . .	3,05	2,48	1,82	1,25	1,06
Движущее усилие P кг . .	20	18	20	20	28

Усилие при обратном вращении валков, или тара, оставалось постоянным и равнялось 8 кг.

Затрата энергии длягиба при каждом пропуске на 1 м длины трубы, принимая P равным 20 кг, составляла $20 \times 50 \times 1 = 1\,000 \text{ кг. м}.$

Эта энергия, отнесенная к длине трубы, изгибаемой в одну секунду, и выраженная в лошадиных силах, как и в предыдущих случаях, равняется:

$$N = \frac{1\,000}{60 \times 75} = 0,20 \text{ лош. силы}.$$

Испытания вальцовок для гнба листов.

Испытания вальцовки для котельных листов завода Фивес-Лилль.
Машина имела три валька диаметром 400 мм и длиной 4 200 м.

Вес верхнего валька 6 000 кг
Вес обоих нижних вальков 10 000 „

Машина имела только один верхний приводимый валок, а два нижних валька вращались трением с изгибаемым листом.

Среднее усилие на ремне верхнего валька 30 кг
Скорость ремня 4,5 м/сек
Работа на ремне $4,50 \times 30$ кг 135 кг. м
Средний диаметр шеек валька 300 мм
Линейная скорость шеек вальков (при двух оборотах в минуту) 0,031 м/сек
Работа трения при $f=0,1 = 6\,000 \times 0,1 \times 0,031$ 18,6 кг. м
Коэффициент полезного действия при холостой работе $\frac{18,6}{135}$ 0,14

Приводный механизм состоял из шкивов и трех промежуточных зубчатых передач. При операции нижние вальки увлекались трением с листом, и работа трения на этих вальках слагалась с работой трения на шейках верхнего валька. Вычитая эту работу из полной работы, получается полезная работа.

Диаметр шеек нижних вальков 200 мм
Работа трения при $f=0,1 = \frac{18,6 \times 10\,000 \times 200}{6\,000 \times 300} = 21$ кг. м
Соответствующая работа на ремне $\frac{21}{0,13}$ 150 кг. м
Полная работа $(135 + 150)$ 285 кг. м

При сгибании вгорячую котельного листа толщиной в 35 мм и шириной 2,80 м при радиусе кривизны $\rho=3,00$ м.

Среднее усилие при первом пропуске достигло . . 210 кг. м
Работа на ремне, соответствующая среднему усилию в $210 \times 4,50$ м 945 кг. м
т.-е. около 13,3 лош. силы.

Испытания вальцовки для котельных листов завода Менье и К° в Фивес-Лилль. — Верхний валок этой машины действовал на лист на середине расстояния между двумя нижними опорными вальками.

Диаметр большого валька 390 мм
Диаметр малых вальков 225 мм
Ширина полотна 3,50 м
Приводный механизм состоял из двух пар шкивов диаметром 520 мм и двух ремней одного прямого и одного перекрещенного, сечением 80×8 мм
Число оборотов в минуту 84 „

Скорость на окружность шкива	2,28 м/сек
Число оборотов вала диаметром 390 мм	1,2 в сек
Скоростьгиба $\frac{3,14 \times 0,390 \times 1,2}{60}$	0,0245 м/сек
Угловая скорость вала $\omega = \frac{\pi n}{30} = \frac{3,14 \times 1,2}{30}$	0,125 в сек
Касательное усилие при холостой работе	8 кг
Мощность при холостой работе $2,28 \times 8$	18,24 кг. м

При сгибании вгорячую железного листа размерами 2500×25 мм при радиусе кривизны $\rho = 2,500$ м получились следующие результаты:

Среднее касательное усилие при первом пропуске	142 кг
Мощность на шкиве $2,28 \times 142$	323,76 кг. м
Полезная мощностьгиба $323,76 - 18,24$	305,52 кг. м

Модуль упругости E по расчету равен:

$$E = \frac{305 \times \rho}{\omega J} = \frac{305 \times 2500}{0,125 \times 2500 \times \frac{25^3}{12}} = 1925.$$

Принимая нагрузку на квадратный миллиметр сечения ремня равной 0,3 кг, последний при сечении в $80 \times 8 = 640$ мм² может передавать усилие в 192 кг > 142 кг.

При таком испытании невозможно выяснить работы трения, происходящей от веса листа, так как этот вес непрерывно изменяется, отчего изменяется и производимая им работа. Вследствие этого можно только рассматривать операцию соответствующую первой деформации, которая обыкновенно бывает наибольшей.

Это испытание вновь показывает, что работагиба котельных листов обычной толщины сравнительно не велика и что скоростьгиба всегда должна быть небольшой.

Правка гибом полос и листов.

Узкие изделия часто имеют неправильный профиль, кривизну или местную деформацию, которые для получения правильной прямой формы требуется устранить. Это достигается посредством операции, называемой правкой или выправкой. Эта операция является частным случаемгиба и выполняется теми же способами, а именно: или на наковальне молотком, или на специальных столах (рис. 983). Для правки фасонного железа этим наковальням придают соответствующую форму с прорезями для помещения полок. При правке длинных изделий их кладут на ролики (рис. 986а—986в) и выправляют как по длине, так и по ширине ударами молотка. Удары наносятся между опорными точками по изогнутым частям, выправляя последние, пока изделие не будет окончательно выправлено и выравнено.

Таким простым способом обычно выправляют полосовое и фасонное железо при постройке стропил и мостов и листы средних размеров. Такие работы требуют для быстроты выполнения специализовавшихся на этом деле рабочих.

Для правки полос и брусков можно точно так же пользоваться различными прессами, как-то рычажными и винтовыми, упоминавши-

мися выше. При правке упругих металлов изделию приходится придавать кривизну в обратную сторону, несколько большую выправляемой кривизны.

Правку длинных полос производят при высокой температуре тотчас же по выходе их из прокатного стана под прессом (рис. 987—989). Такого рода пресс ¹⁾ состоит из стола *Z* с бортами *R*, на которых производится правка. Полосы прижимают к борту чугунными колодками *K*, передвигаемыми винтами *V*; последние приводятся во вращение коническими шестернями. Привод работает по желанию в обе стороны. Колодки быстро отодвигаются от полосы и медленно при-

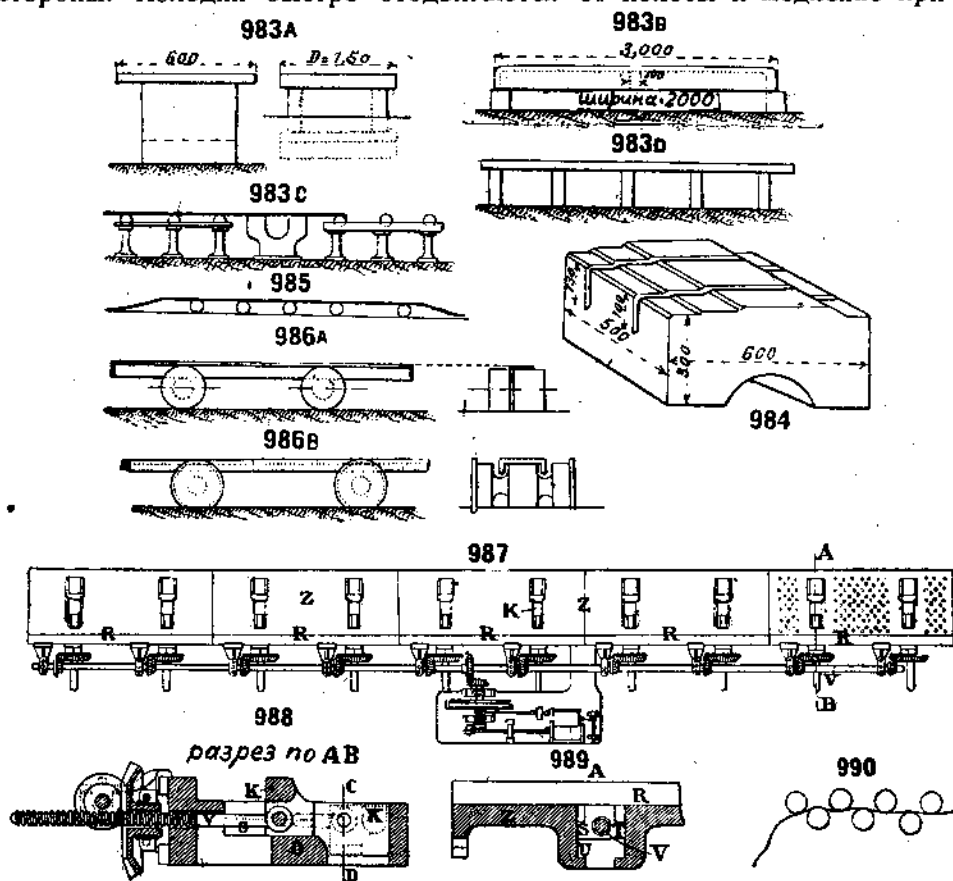


Рис. 983—990.

ближаются к ней, производя давление. Привод непосредственно сцеплен с паровой машиной.

Для правки полосы колодки *K* под действием винтов *V* упираются в часть *U* стола, которая закруглена. Встретив такое препятствие, они поворачиваются на четверть оборота вокруг своей оси *T*. Вследствие этого движения верхняя часть колодки входит в два паза, имеющиеся в столе и служащие направляющими для нее, тогда как верхняя часть выступает на стол и прижимает изделие к борту *R*.

В конце хода колодки отходят, опрокидываются под действием собственного веса и освобождают стол.

¹⁾ Патент Циане (Ziane) 17 марта 1877 года.

При установке на кромке стола опорных колодок, этой машиной можно пользоваться длягиба полос. При правке вгорячую фасонных полос асимметричного сечения необходимо считаться с явлениями сокращения металла и придавать изделию некоторую кривизну в обратном направлении, исчезающую при остывании.

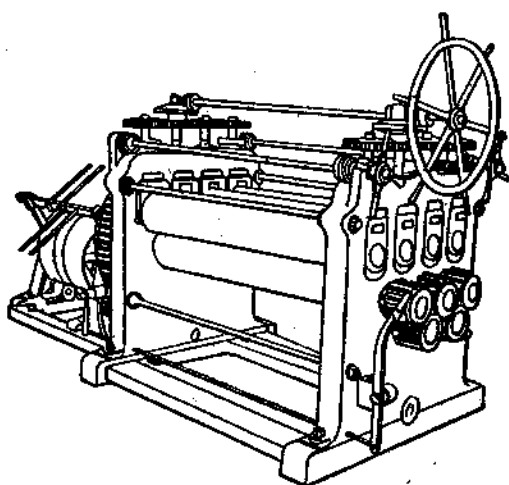


Рис. 991.

Гибом правят также и листы, пользуясь обыкновенной вальцовкой. Лист сперва немного выгибают, а затем выглаживают, повернув его на обратную сторону ¹⁾.

Иногда этого способа оказывается недостаточно, и листы получаются не вполне ровными. В таких случаях пользуются специальными машинами с несколькими валками.

Лист изгибают несколько раз, так как первый пропуск вызывает образование на тонких листах волн, вызывающих загиб конца листа.

После обратного пропуска при надлежащей регулировке валков лист принимает снова свою плоскую форму. Операция производится в два или несколько пропусков. Число пропусков тем больше, чем толще листы и чем неправильнее их поверхность.

Потребная для правки толстых листов (как, например, листов толщ. 30 мм) деформация очень незначительна.

Машины для правки листов толщиной до 8 мм устроиваются с семью валками, а для листов большей толщины — с пятью валками.

Эти машины сходны с машиной, изображенной на рисунке 991, с ременным приводом ²⁾ или с машиной, изображенной на рис. 992, непосредственно соединенной с реверсивным паровым двигателем.

Длина валков последней машины равнялась 2 метрам, а диаметр — 310 мм. Верхние валки перемещались вертикально посредством винтов, приводимых во вращение одновременно для сохранения их

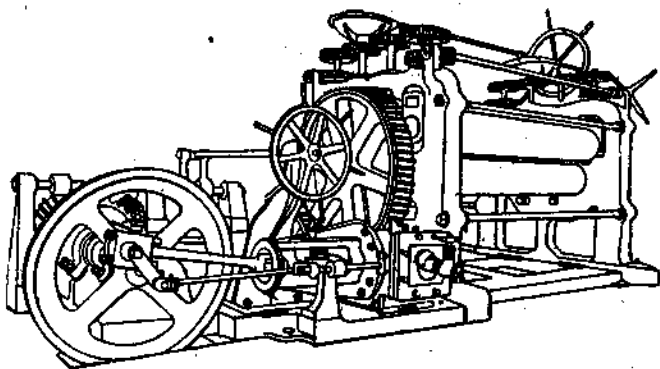


Рис. 992.

¹⁾ Правка листов валками применялась в Англии в XVII веке при производстве жести, которую сгибали и разгибали для удаления окалины и, наконец, выпрямляли. Этот способ применялся на нескольких заводах и походил на способ выпрямления проволоки.

²⁾ Завод Rushworth and Co, в Sowerby Bridge.

параллельности. Тем не менее оба крайних валка можно поднимать и опускать в одиночку независимыми приводными механизмами, с червяками, вращающими червячные шестерни; последние служат гайками для вертикальных винтов.

Такая машина, построенная для железнодорожной мастерской, весит 19 тонн.

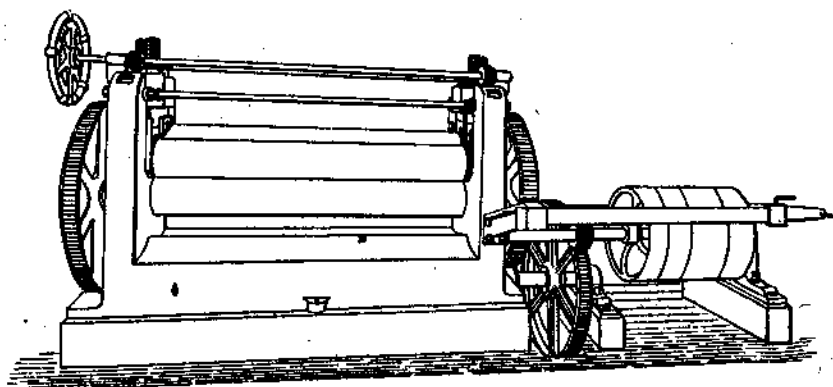


Рис. 993.

В машинах для правки тонких листов применяется несколько моделей валков с диаметром от 70 до 200 мм.

Машина завода Крэг и Дональд (Craig and Donald) (рис. 993) имеет только четыре валка, приводимых во вращение для работы в обоих на-

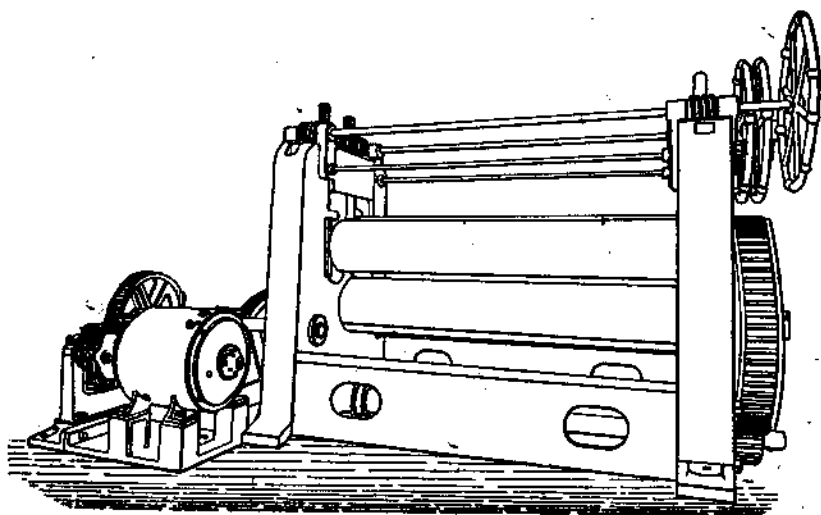


Рис. 994.

правления прямым и перекрещенными ремнями. Эти ремни поочередно переводятся на средний шкив, укрепленный шпонкой на валу. Остальные шкивы холостые. Машина, изображенная на рис. 994, приводится в действие электромотором с приводом для реверсирования вращения.

Для работы на таких вальцовках требуется только один рабочий, который изменяет установку верхних валков, тогда как для обслужи-

вания вальцовок с семью валками требуется несколько рабочих. Все валки делаются из ковanej стали, а зубчатые колеса из литой стали.

На рис. 995 изображен способ производства операции. Лист подают со стороны так называемого выравнивающего валка, тогда как верхний изгибающий валок опускают настолько, чтобы слегка

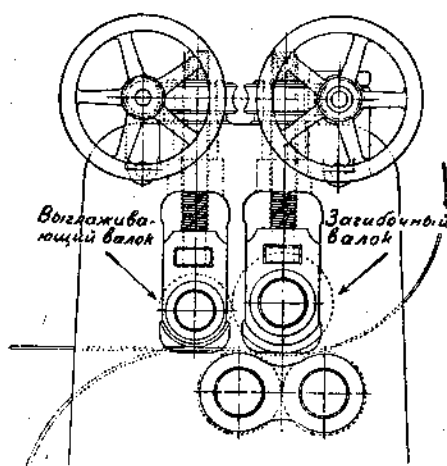


Рис. 995.

выгнуть лист. Кривизна изгиба зависит от толщины листа. Чем толще лист, тем меньше должна быть кривизна. Если листы имеют местные неровности, то требуется несколько пропусков. В этом случае надо опустить загибающий валок для увеличения кривизны, после чего при последнем пропуске этот валок ставят на место в положение для выправки листа.

Завод выпускает целую серию таких машин, технические характеристики которых приводятся в таблице на стр. 461.

Приведем также технические характеристики и результаты произведенных нами испытаний машины с пятью валками (завода Фивес-Лилль).

Диаметр валков	170 мм
Ширина полотна	1 250 мм
Вес одного валка	250 кг
Диаметр шеек валков	90 мм
Число оборотов в минуту	7
Скорость на окружность валков	0,033 м/сек
При приводе трех верхних валков ремнем, холостая работа трения валков $= 3 \times 0,1 \times 0,250 \times 0,033$	2,5 кг. м
Натяжение ремня	5 кг
Диаметр шкива	70 мм
Число оборотов в минуту	65
Скорость ремня	2,385 м/сек
Работа на ремне $5 \times 2,385$	12 кг. м

Коэффициент полезного действия машины $\frac{2,5}{12} = 0,211$

При приведении в действие всех пяти валков

работа на ремне равняется $\frac{12 \times 5}{3}$ 20 кг. м

Среднее усилие на ремне при правке листа шириной 1 м и толщиной 10 мм при обычном зажиме валков 65 кг

Соответствующая работа $65 \times 2,385$ 155 кг. м

Отсюда видно, что работа изменяется в зависимости от сжатия валков. Практика показала, что для этой машины требуется двойной ремень шириной 80 мм. Обыкновенный ремень недостаточен, вследствие наличия значительных сил инерции, возникающих при каждой перемене направления вращения валков.

Т и п ы	Размеры листов		Диаметры валков			Потреб- ная мощ- ность
	Ширина	Толщина	верхнего изгибаю- щего валка	верхнего выглажи- вающего валка	обоих нижних валков	
	мм	мм	мм	мм	мм	лощ. сил
BET ¹⁾	3 650	50	686	546	550	180
BFA ¹⁾	3 000	50	648	510	510	160
BFD	2 600	30	400	320	320	50
CAB	2 100	38	394	330	330	55
CABA	2 750	25	380	300	300	40
CAD	2 400	32	390	310	310	50
CAF	1 500	32	310	250	250	40
CAH	2 100	25	330	260	260	35
CAK	2 400	22	330	250	250	30
CAM	2 100	22	300	250	250	25
CAO	2 100	19	290	220	220	20
CAP	1 800	22	280	230	230	22
CAR	1 800	16	250	200	200	15
CAT	2 100	13	240	190	190	12
CAV	760	25	200	160	160	15
CAW	1 670	13	210	160	160	10
CAX	1 500	10	170	130	130	7
CAZ	1 370	6	110	90	90	5
CAZA	1 000	4	90	70	70	4

¹⁾ Машины BET и BFA пригодны для правки листов из никелевой стали.

Правка проволоки.

Правка намотанной в бунты проволоки достигается комбинированными последовательными изгибами и вытяжками, пропуская ее между расположенными соответственным образом штифтами (рис. 996). Этот процесс очень старый.

Все искусство рабочего заключалось в том, чтобы в доску длиной около 200 мм и шириной 150 мм вбить шесть гвоздей (рис. 996 и 998) таким образом, чтобы промежутки между тремя первыми гвоздями в точности соответствовали толщине выпрямляемой проволоки. Остальные гвозди должны придавать проволоке некоторую обратную кривизну, которая зависит от толщины и кривизны выпрямляемой проволоки.

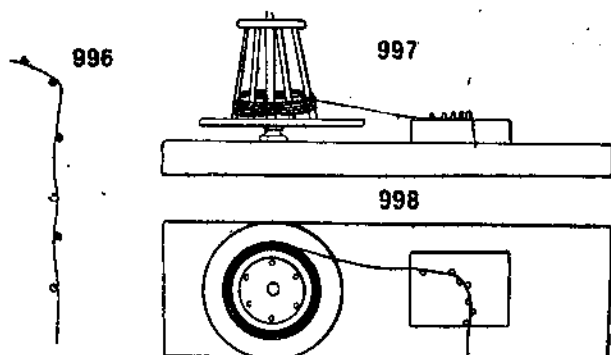


Рис. 996 — 998.

Конструкция такой машины представляет значительные теоретические трудности.

Расстояние между последними тремя гвоздями зависит также от толщины проволоки. На рис. 996 изображено в большом масштабе расположение этих гвоздей. При правке проволоки для изготовления булавок № 10, расстояние между гвоздями равняется 60 мм. Те же расстояния для правки булавочной проволоки № 6 должны равняться 100 мм. Для больших номеров проволоки расстояния пропорционально увеличиваются, а для меньших уменьшаются.

В случае какой-либо ошибки в размещении этих гвоздей проволока выпрямляется недостаточно, и приходилось повторять операцию.

Таким образом видно, что каждое такое приспособление пригодно только для одной толщины проволоки. Если проволока очень мягкая, то одним и тем же приспособлением можно пользоваться для двух соседних номеров.

В настоящее время правка проволоки производится между роликами, заменяющими штифты.

На рис. 999 изображено роликовое приспособление, приводимое в действие вручную. Ролики расположены на соответствующей плите, положение их можно изменять по желанию, в зависимости от толщины проволоки.

На рис. 1000 проволока протягивается между роликами двумя захватывающими ее валками.

Навивка.

Навивка представляет собой операциюгиба и заключается в намотке полосы вокруг оси таким образом, чтобы она образовала плоскую или цилиндрическую спираль.

Навивка применяется при изготовлении пакетов для сварки из них бандажей. Этим процессом также пользуются при производстве труб, пружин и т. п.

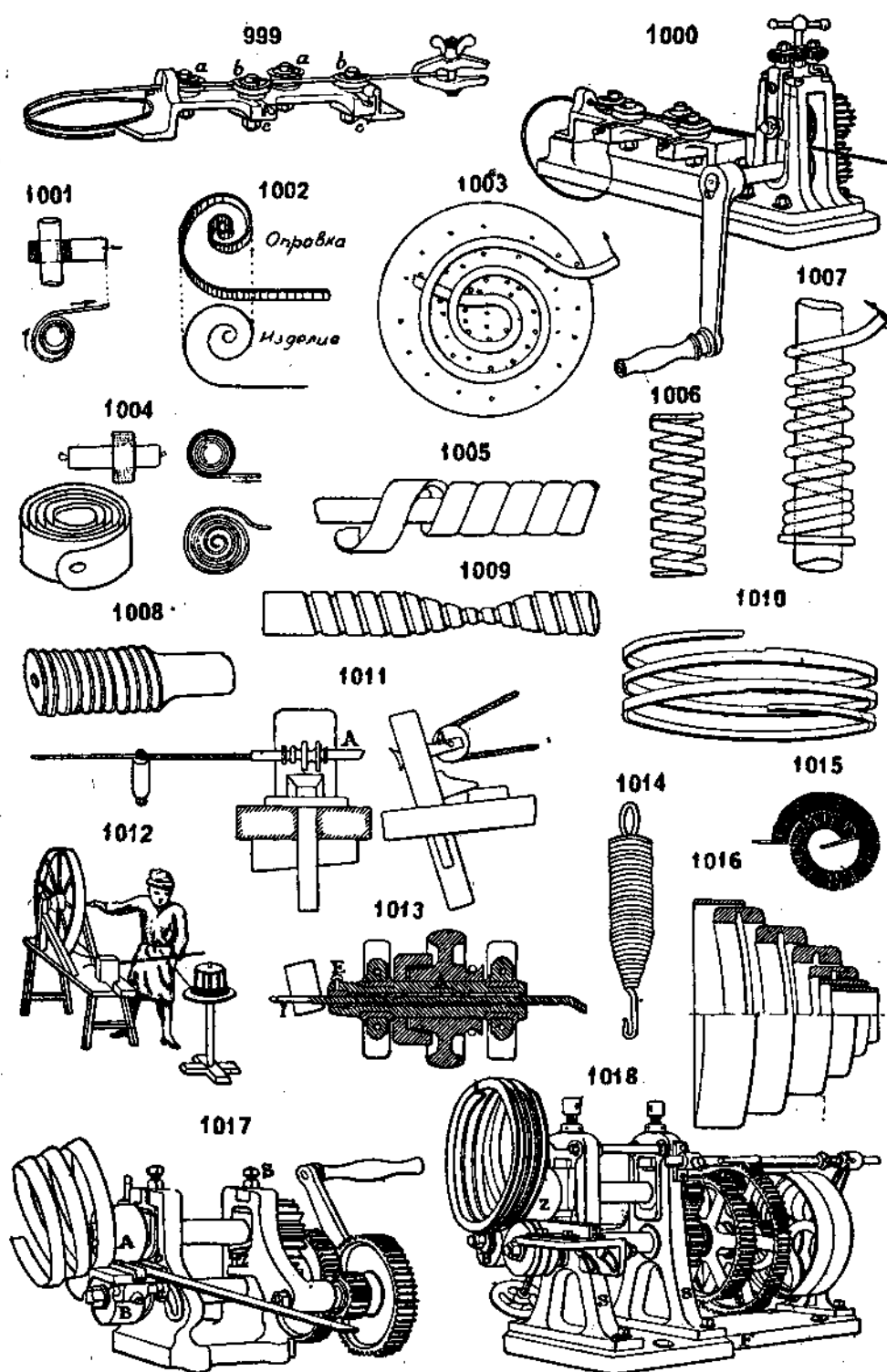


Рис. 999 — 1018.

Изделия небольшого сечения легко навиваются вручную на оправку (рис. 1001), диаметр которой должен быть несколько меньше требуемого диаметра спирали вследствие упругости металла. Вследствие упругости металла усилие навивки возрастает вместе с увеличением количества витков.

Если требуется переменная кривизна навивки, то оправке придают соответствующую форму (рис. 1002).

Крупные изделия, как, например, толстостенные трубы навивают в спираль на специальном столе, устанавливая в его отверстиях значительное количество штифтов (рис. 1003).

Оправке в некоторых случаях придают вращательное движение (рис. 1004), вследствие чего навиваемое изделие подвергается некоторому напряжению, достаточному чтобы преодолеть его сопротивление изгибу. Вместе с тем достигается более сильное сжатие витков между собой, что, например, требуется при изготовлении пружин.

Винтовая навивка производится также на соответствующей оправке, направляя ленту под углом и так, чтобы витки несколько находили друг на друга или, сохраняя равномерно расстояние между их кромками (рис. 1005—1007).

Операция производится быстро, вращая оправку, на которой иногда делают винтовые дорожки соответственной формы (рис. 1008—1010).

На рис. 1011—1012 изображено старинное приспособление для навивки латунной проволоки на вращающуюся оправку, укрепленную на валу А. Рабочий направляет проволоку, поворачивая одновременно рукоятку.

Иногда проволока наматывается на неподвижную оправку, как показано на рис. 1013. В этом случае проволока навивается на цилиндрическую оправку J. Проволоку при навивке умеренно натягивают посредством зажима в виде двух полугаек, стягиваемых винтом E. Зажим соединен с трубчатым валом А, приводимым во вращение шкивом с тормозом; шкив вращается от трансмиссии. Наматывая на оправку часть проволоки, вращаясь, заставляет обвиваться вокруг оправки J остальную часть проволоки.

Иногда лента или проволока навивается конической спиралью (рис. 1014—1016). Такого рода навивка применяется при изготовлении различных пружин, гибких труб и других изделий.

Навивку производят специальными машинами с наматывающими и направляющими роликами, которые можно устанавливать под любым углом (рис. 1019—1020).

Складка, загиб бортов.

Операция складки аналогична с операциейгиба коленом, но в этом случае гиб производится под настолько большим углом (до 180°), чтогибаемые части изделия часто накладываются друг на друга (рис. 1019). Складкой иногда также называют загиб бортов листов под более или менее острым углом (рис. 1020). Складки листов при соединении их между собой фальцами (рис. 1021) иногда делаются многократными.

Операция в большинстве случаев производится на наковальне молотком, совершенно так же, как и гиб коленом. Операцию можно заканчивать в тисках (рис. 1022).

Тонкие листы зажимают в тисках и отгибают келотушками (рис. 1023). Пользуясь оправками, можно производить загиб под любым углом.

Борты толстых листов загибают вгорячую на фасонной оправке (рис. 1024) при местном или полном нагреве, в зависимости от размеров изделия, ударами колотушки или лобового молота и постепенно выравнивают гладилками. Таким образом обычно загибают борты топочных коробок, плит, трубочных досок, передних и задних днищ котлов, труб большого диаметра, патрубков, колпаков и т. п. (рис. 1025—1026).

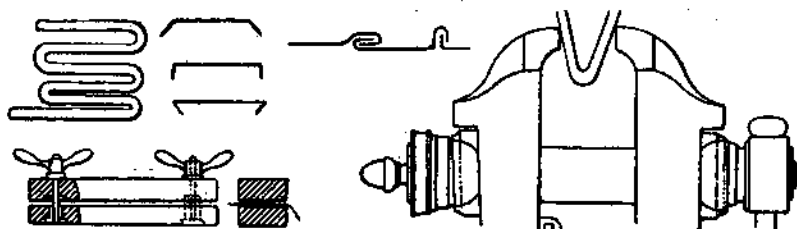


Рис. 1019—1023.

Борты загибают постепенно, так чтобы металл не высаживался и не вытягивался, не образовывал складок и не давал трещин.

При загибе бортов цилиндрических изделий под углом в 90° , если операция производится при вишнево-красном калении, их заги-



Рис. 1024.



Рис. 1025.

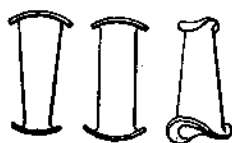


Рис. 1026.

бают только на 85° . При охлаждении вследствие сокращения металла этот угол увеличивается до 90° .

При загибе бортов цилиндрического изделия наружу (рис. 1027) металл удлиняется тем больше, чем больше внешний диаметр образуемого фланца. Максимальное удлинение металла происходит на окружности, первоначальная длина которой, равная $2\pi r$, становится равной $2\pi(r+h)$. Абсолютное удлинение окружности, таким образом, будет $2\pi h$, а относительное:

$$\frac{2\pi h}{2\pi r} = \frac{h}{r} = \frac{e'}{e},$$

где e первоначальная, а e' окончательная толщина изделия на окружности.

То же самое происходит (рис. 1027) и при отгибе цилиндрического борта отверстия в плоском листе.

Загиб фланца круглой трубы (рис. 1028) вызывает высадку металла, которая достигает максимума на его окружности, при чем уменьшение длины последней пропорционально:

$$\frac{2\pi h}{2\pi(r+h)} = \frac{h}{r+h}.$$

Получающееся утолщение борта увеличивает прочность изделия.

В тех случаях когда требуется уменьшить первоначальный диаметр плоского изделия, кромку его загибают постепенно по всей окружности изделия. В этом случае необходимо, чтобы получающиеся складки металла (рис. 1029) распределялись равномерно по всей окружности. Вслед затем по мере высадки металла утолщения исчезают.

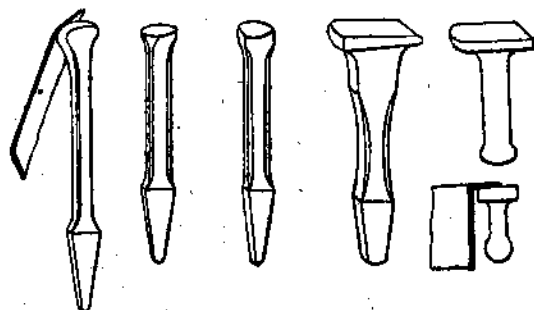


Рис. 1029.

Подобная операция возможна, если металл очень ковкий; производится она ударами колотушки или молотка.

Так как металлический лист, помещающийся между наковальней и молотком, при каждом ударе сжимается, то в результате получалось бы уменьшение толщины этой части изделия; поверхность его,

вместо того чтобы сократиться, увеличилась бы и вместе с тем удлинилась бы его окружность. Для уменьшения поверхности, наоборот, требуется увеличить толщину изделия высадкой металла. Такая высадка достигается тем, что удары наносят на небольшом расстоянии от точек касания изделия с опорой, направляя их в сторону последней. Для этой работы пользуются молотком с выпуклым бойком.



Рис. 1030.

При закругленной форме бойка удар действует на меньшую поверхность и вызывает увеличение толщины изделия по мере уменьшения его диаметра.

Такая работа требует большого искусства со стороны рабочего, который должен пользоваться теми приемами, которые больше всего подходят к форме изделия.

Работа производится в горячую и в холодную, причем в последнем случае приходится несколько раз отжигать металл. Ряд различного типа наковален или стоек изображен на рис. 1029. Эти наковальни или поддерживают рукой, или укрепляют на верстаке. Большая часть операции производится колотушками, заканчивают же ее специальными молотками (рис. 1030).

Для такого рода работ весьма пригодны специальные небольшие механические молоты.

Фальцовка.

Когда складку тонких листов производят для соединения двух или нескольких изделий фальцем (рис. 1031), то плотное соприкосновение между этими отдельными листами достигается сильным обжимом. Такая операция называется фальцовкой и имеет много общего с процессамиковки на оправке. Применяющийся при этих работах станок, или фальцовка, изображенный на рис. 1032, служит для сплющивания

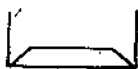


Рис. 1031.

или фальцования шва трубы, который обжимается проходящими по нему роликами.

Равномерный механический загиб бортов листов производится также на загибочных машинах. Машины этого рода разделяются на два основных типа. К первому типу относятся машины, отгибающие прямолинейные борты одним нажимом, при чем лист удерживается прессом, а край его отгибается книзу или кверху траверсой. На рис. 1033 изображена вертикальная машина для загиба бортов тонких листов. В зависимости от угла установки зажима *В* (рис. 1034) относительно загибного бруска *А* листы можно изгибать под любым углом.

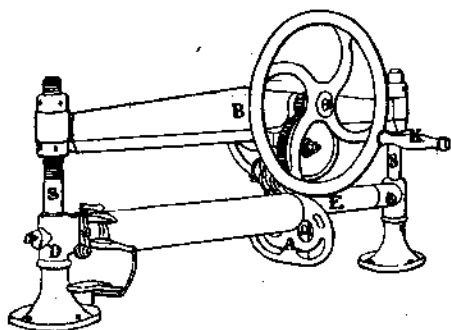


Рис. 1032.

На рис. 1036 и 1037 изображена аналогичная горизонтальная машина, в которой перестановка загибного бруска производится эксцентриковым приспособлением.

Машины второго типа или фальцовки характеризуются специальным процессом загиба бортов роликами, вращающимися в противоположных направлениях. Профили этих роликов соответствуют углу загиба, как то можно видеть на рис. 1038—1039.

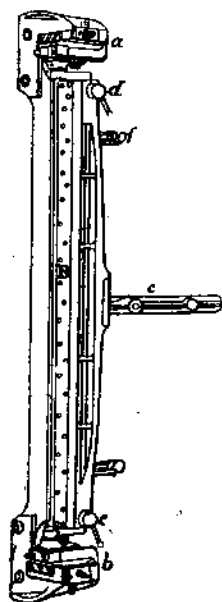


Рис. 1033.

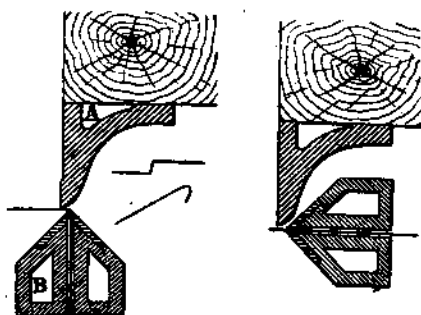


Рис. 1034—1035.

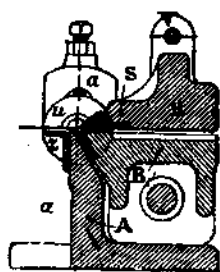


Рис. 1036.

Изделие подается вручную, при чем машины также снабжаются направляющими для продольного перемещения изделий или для его вращения при цилиндрической форме листов.

Рисунки 1040 и 1041 относятся к небольшой фальцовке, назначенной для загиба бортов тонких листов. Во втором томе нашего труда мы приво-

дим также другие более мощные машины для загиба бортов толстых листов, применяющиеся при изготовлении сосудов, подвергающихся большим давлениям.

Если изделие цилиндрическое и борт его отгибается под прямым углом или закругляется, то пользуются роликами типа, изображенного на рис. 1042—1044.

Для загиба бортов конических изделий оси роликов (рис. 1045—1047) устанавливают под углом друг к другу. Фальцовку производят

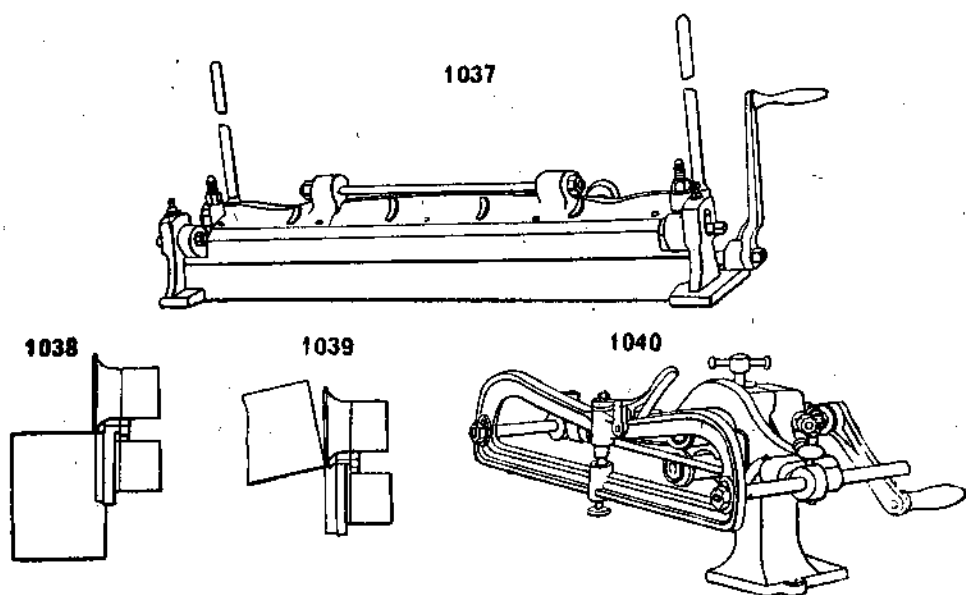


Рис. 1037—1040.

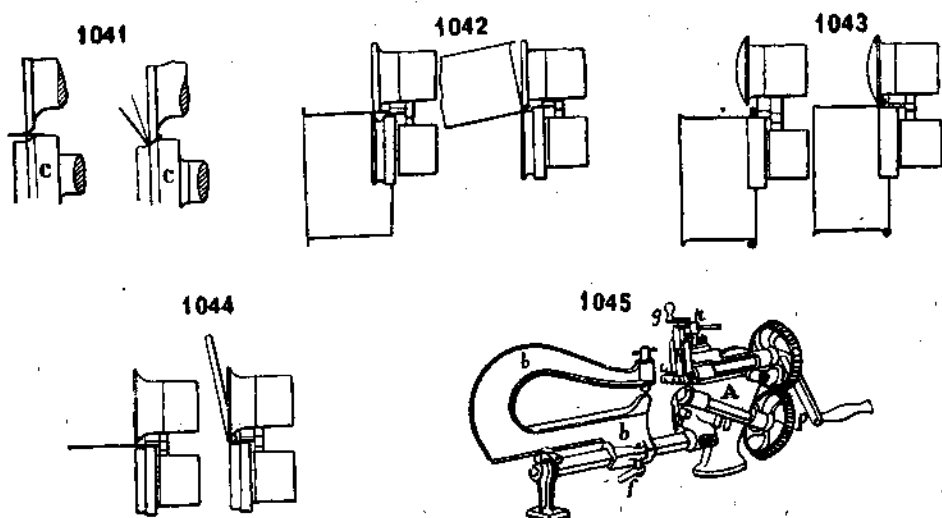


Рис. 1041—1045.

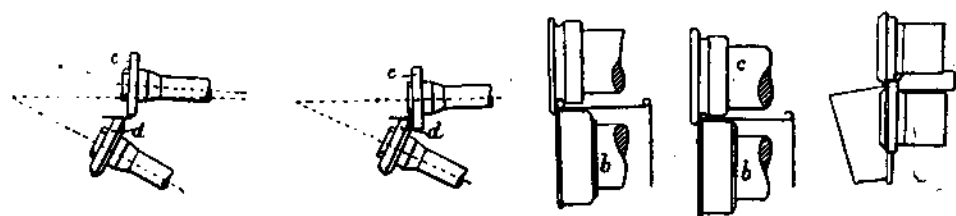


Рис. 1046—1047.

Рис. 1048—1049.

точно так же роликами формы, изображенной на рис. 1048—1051 (см. машину, изображенную на рис. 1052). Станина этой машины имеет глубокий вырез для ввода изделия, которое надевается на нижнюю выступающую часть.

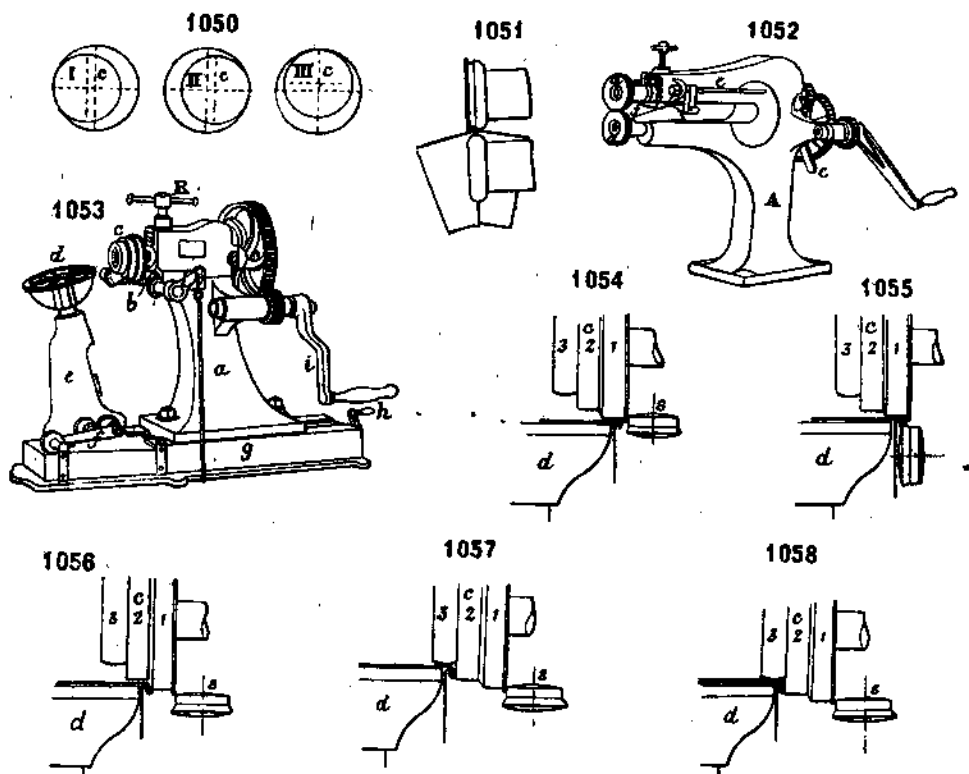


Рис. 1050—1058.

Этот процесс применим к целому ряду медно-котельных работ, которые еще до сих пор часто производят вручную молотком.

Вставка круглых доньев в цилиндрические изделия изображена на рис. 1059—1061. Операция выполняется последовательно тремя роликами.

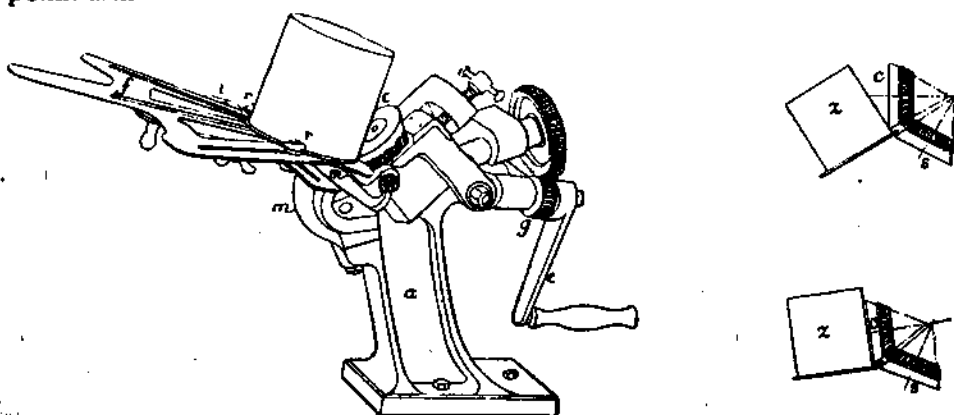


Рис. 1059.

Рис. 1060—1061.

Иногда пользуются также машинами типа, изображенного на рис. 1059—1061.

Круглую заготовку дна кладут на стол машины, после чего на нее ставят вторую цилиндрическую заготовку с загнутым предварительно бортом. Соединяемые борты захватываются коническими роликами

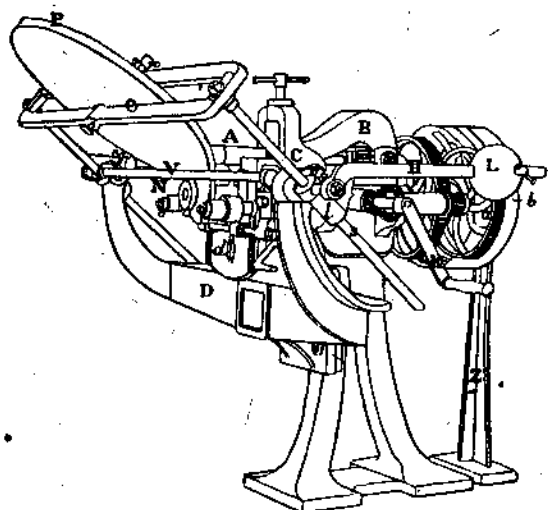


Рис. 1062.

сб, а самое изделие удерживается роликами rr. Вращение рукоятки вызывает вращение изделия между конусами с и b, которые постепенно сближаются и сфальцовывают борты. Такого рода машины, но более мощные, применяются и для фальцовки крупных изделий из более толстых листов.

Для загиба внутрь или наружу бортов листов умеренной толщины пользуются машиной с механическим приводом, изображенной на рис. 1062.

Вал А, на котором устанавливается верхний ролик, переставляется вертикально его подшипники. Последние

посредством винта С, передвигающего перемещаются в направляющих станины.

Нижний вал, на конце которого установлен ролик N, имеет продольное перемещение.

Машину сперва приводят в действие вручную рукояткой К для установки изделия и роликов, после чего она приводится в действие механически, ремнем и промежуточными шестереночными передачами.

Вторая рукоятка служит для установки роликов N относительно изделия Р. Изделие Р удерживается двумя центрами, имеющимися на держателе С. Поперечина V служит для заготовки Р опорой и направляющей. Рычаг Н и груз L уравнивают держатель и заготовку. Загиб производят постепенно, путем перемещения загибающих роликов.

Загиб бортов толстых листов производится под гидравлическим прессом на соответствующих оправках с закругленными краями.

Пресс, изображенный на рис. 1063¹⁾, имеет вертикальный поршень с головкой, прижимающей лист к оправе. Как только лист зажат, головка второго наклонного поршня отгибает его борт книзу, прижимая ее к краю оправки. Вслед затем если лист еще не остыл, его подвигают для загиба соседней части.

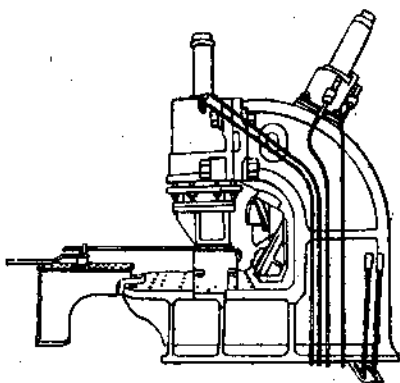


Рис. 1063.

¹⁾ Завод Hugh Smith and Co, Глазго.

Надо заметить, что головка наклонного поршня направляется параллелями, которые, кроме того, поддерживают ее и не дают изгибаться от реакции давления.

Тведделль построил гидравлический пресс с тремя поршнями (рис. 1064). Поршень *С* удерживает лист поверх оправки. Горизонтальный поршень *Е* поддерживает уже загнутый борт листа, тогда как третий поршень *Д* с головкой соответствующей формы осаживает борт листа.

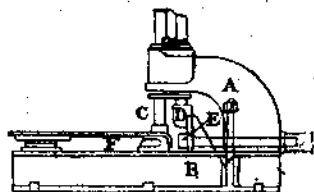


Рис. 1064.

Радиус закругления ребра оправки не должен быть слишком мал. Загибать надо осторожно, чтобы не получилось разрывов металла, которые при работе на таких машинах происходят чаще, чем при загибе вручную. На заводе Фокс загиб полок продольных балок локомотивов и вагонов (рис. 1065 и 1066) производится вгорячую гидравлическим прессом при давлении около 60 кг/см^2 .

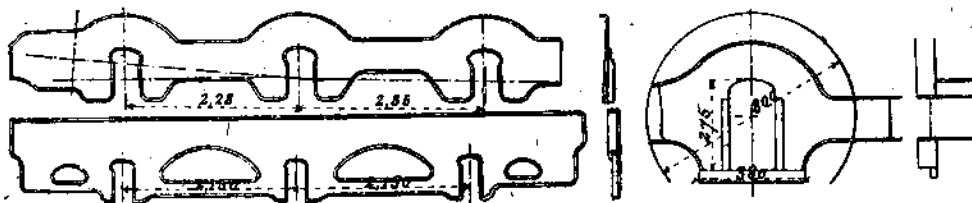


Рис. 1065—1066.

Для такой работы металл должен быть очень текучим, как, например, мягкой сталью или литым железом. Вместе с тем требуется очень равномерный нагрев. Подобное производство вагонных шасси ведется

в большом масштабе на заводах Leeds Foundry Company. Преимущество этого способа заключается в том, что при нем сильно сокращается количество потребных при сборке частей, как, например, угольников и разных других скреплений, при чем вес их понижается примерно на 20 процентов.

При судостроительных работах применяется большое количество железных угловых полос с различными углами между полками. Так как гиб таких угловых полос под молотом или под прессом требует слишком много

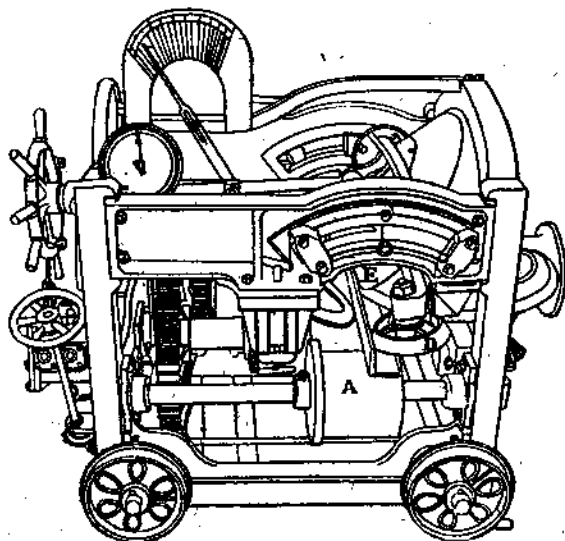


Рис. 1067.

времени, то предпочитают пользоваться специальными машинами, одна из которых завода Дэвис и Примроз изображена на рис. 1067 и 1068. Полосу обычно нагревают и одну из полок помещают между

двумя или несколькими роликами *A* и коническими дисками *D*. Таким образом полоса может перемещаться в продольном направлении.

Конический ролик *F* имеет поперечное движение. Нажимая на вертикальную полку, он изгибает ее под соответствующим углом. Изгиб регулируется наклоном направляющего ролика *E*. Установка угла между полками производится по указателю со стрелкой, движущейся по шкале.

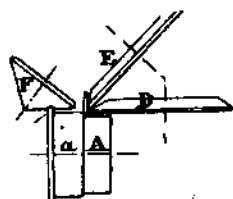


Рис. 1068.

Ролики *F* и *E* можно наклонять по желанию и заменять другими, так же как и ролики *A* и *D*. Операция производится быстро и дает равномерный изгиб.

Сложная складка.

Сложная складка листов (рис. 1069) производится на специальных машинах последовательными операциями, чтобы не вызывать слишком сильных напряжений, ведущих к разрывам металла, и понизить затрату энергии по сравнению с ее затратой при производстве операции в один прием.

Машины позволяют получать всевозможные формы складок и изгибов при условии применения соответствующей формы оправок. Эти машины снабжаются направляющими для точного регулирования поперечных размеров изгибаемой полосы.

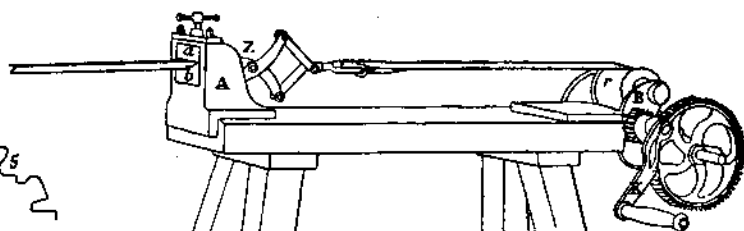


Рис. 1069—1070.

Такого рода гиб можно производить также путем протяжки через соответствующие волоочильные отверстия в один, или если угол изгиба очень мал, то в несколько пропусков. На рис. 1070 изображена волоочильная машина для изгиба узкой тонкой полосы в угольник.

Выдавка или штампование.

Выдавка или штампование употребляются для изготовления изделий углубленной формы с тонкими стенками, чаще всего из металлических листов. Такого рода изделия часто называют попросту штамповками. Процесс распадается на две разновидности, а именно: штампование или выдавку на наковальне или оправке молотками и штампование в матрицах пуансонами.

Формы штамповок довольно разнообразны, поверхности их состоят из отдельных шаровых, параболических и других поверхностей вращения, соединяющихся друг с другом коническими или цилиндрическими или иными поверхностями с прямолинейными или изогнутыми образующими, т.е. поверхностями ординарной или двойной кривизны.

Эти сложные поверхности получают гибом, вытяжкой или сжатием металла, в зависимости от формы изделия и принятого производственного процесса.

Штампование молотками.

Чтобы изготовить сферическую чашку (рис. 1071—1072) из листа, вырезают круглую заготовку, и если работа производится молотком или колотушкой на стойке с шаровой головкой (рис. 1073)—сперва выгибают центральную часть, вытягивая металл по концентрическим окружностям или по спирали. Заготовка деформируется и принимает кривизну, которая все более и более усиливается по мере дальнейшей работы. При этом окружности заготовки не дают удлиняться. Каждый последующий удар молотка должен несколько захватывать то место, по которому был направлен предыдущий удар.

Если бы работу начать с окружности заготовки, то пришлось бы действовать постепенным гибом, как говорилось выше.

Заготовки для больших круглых изделий иногда делают толще в середине, нежели на окружности, чтобы не получить слишком тонкого дна.

Заготовке лучше придавать диаметр несколько меньше диаметра внутренней дуги изделия, т.е.

для нее выбирают радиус несколько меньше хорды (рис. 1074), чтобы поменьше сжимать ее по окружности.

Радиус также можно рассчитать по зависимости между одинаковыми объемами в начале и в конце работы. Если допустить, что толщина изделия одинакова с толщиной заготовки, то можно воспользоваться зависимостью между поверхностями, а именно:

$$\pi r^2 = \pi AB^2, \text{ где } AB — \text{хорда, откуда } r = AB.$$

В этом случае при полусферической форме изделия получается большее среднее удлинение металла, вследствие чего получается большая равномерность стенок.

Изделию лучше вначале придавать меньший диаметр, а затем растянуть его молотком или колотушкой, если оно значительного размера.

Металл должен быть очень текучим. Свинец, медь, латунь, мягкое железо хорошего качества, в особенности литое железо и мягкая сталь при больших деформациях, штампуют в горячую. Работа возможна также и в холодную при условии отжигов, по мере наклепа металла под ударами инструмента.

При горячем штамповании не следует забывать, что работать надо при той температуре, при которой металл обладает наибольшей текучестью, а не наибольшей ковкостью.

Для каждого металла, как, например, для меди, необходимо знать температуру, соответствующую его наибольшей текучести.

Работа при слишком высокой температуре часто затруднительна и дает худшие результаты, нежели при более низкой температуре.

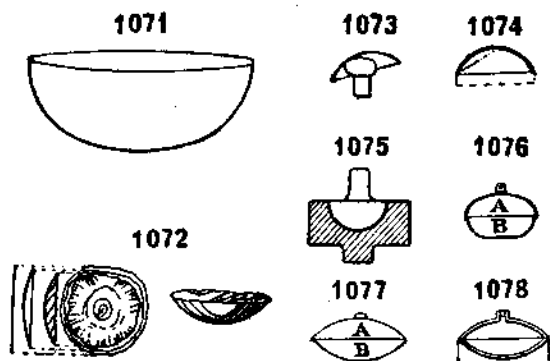


Рис. 1071—1078.

Брак часто получается вследствие работы при критической температуре металла, из-за трудности равномерно нагреть различные части изделия или избежать неравномерного охлаждения во время операции. В особенности эти явления наблюдаются при небольшой толщине изделия, применении форм, вызывающих ненормальные местные деформации и разрывы, а также при слоистости самого металла.

Иногда при значительном производстве такого рода изделий, как, например, вогнутых доньев, служащих для изготовления дистилляционных колонок, их выравнивают в матрице при помощи оправки (рис. 1075).

Оправка должна входить туго, при чем ее перемещают или поворачивают несколько раз. При толщине металла до 3 мм можно рабо-

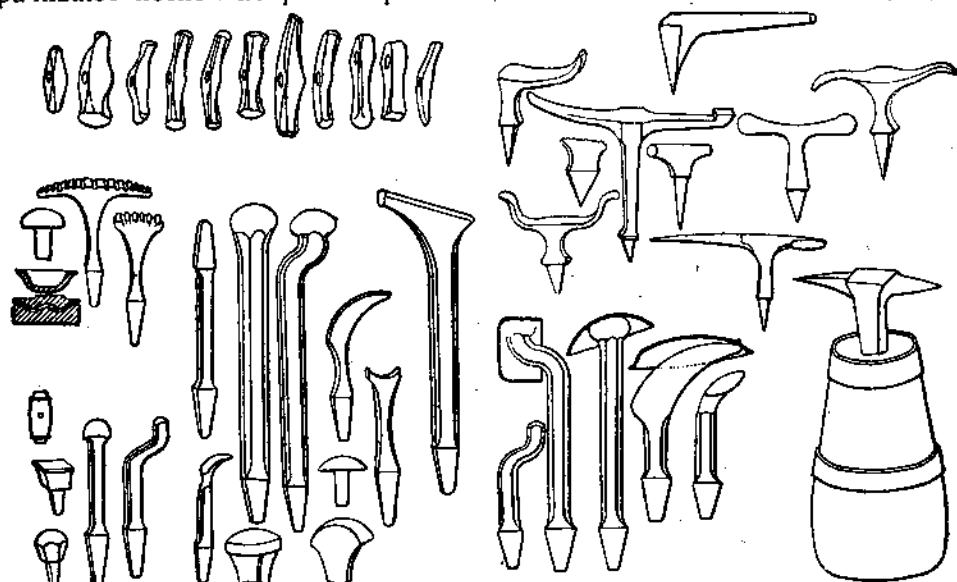


Рис. 1079.

тать входную. При большей толщине медные и железные заготовки надо нагревать до красного каления.

Такие изделия как, например, шаровые поплавки (рис. 1076—1078) выделяются из двух полушарий. Их либо вставляют друг в друга, либо сфальцовывают вместе, после чего шов пропаивают.

Применяющиеся при штамповании инструменты состоят из различных молотков, наковален, шпераков, стоек, оправок или форм. Ряд таких инструментов изображен на рис. 1079.

Штампование ручным молотком особенно применяется в мастерских, изготавливающих мелкие котельные изделия, при чем рабочий процесс нисколько не изменился в течение целого ряда веков. Вследствие этого мы приводим описание подобного производства, заимствованное из Энциклопедии (том IX, стр. 219).

Старинная мастерская XVII столетия, в которой изготавливались небольшие открытые котлы, изображена на рисунке 1080. Она оборудована двумя группами хвостовых молотов, приводимых в действие двумя отдельными водяными колесами.

Вал *bc* одного из колес имеет на окружности три ряда *d, d, d*, зубцов по двенадцати в каждом. Эти зубцы, встречая хвосты трех молотов, приподнимают их. Последние по проходе зубцов падают на наковальни.

Наковальни вставлены в отверстия, проделанные в дубовых стульях, зарытых в землю на 1,0—1,2 метра.

Стулья скреплены железными обручами; верхние поверхности их находятся на уровне земли.

Рычаги молотов проходят через овальные муфты, цапфы которых лежат на подшипниках, укрепленных в стойках, как то видно на рисунке. Поперечное сечение стоек — около $0,3 \times 0,3$ метра. Стойки вверху и внизу на уровне земли связаны прочными поперечинами. К нижней же поперечине укреплены стальные пластины, на которые ложатся хвосты молотов. Эти пластины играют роль пружин и удваивают удар молота своей упругостью.

Надо заметить, что хвостовые молоты расположены таким образом, что действуют поочередно, а не все сразу. В то время как один молот касается наковальни, второй падает, а третий поднимается.

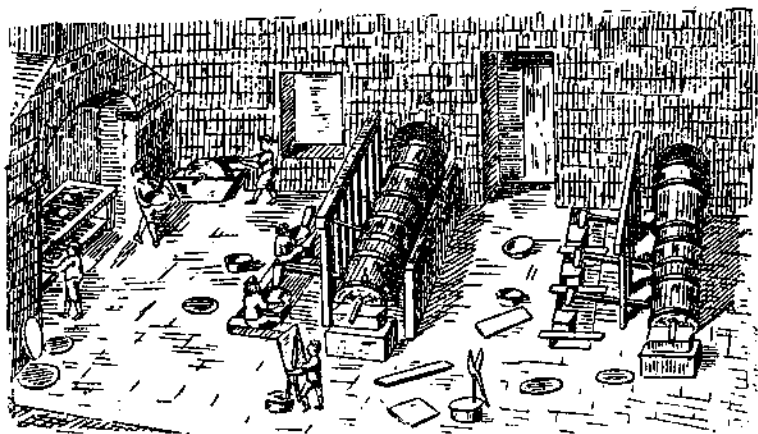


Рис. 1080.

На левой стороне рисунка видна печь для отжига медных заготовок во время работы.

Применяются два вида молотов. Один из них служит для проковки заготовок, из которых изготавливается латунная проволока. Самый легкий молот весит 8 кг, а самый тяжелый — 20 кг.

Кроме того, применяются промежуточные молоты весом 9, 10 и 12 кг. Форма всех молотов одинакова. Ширина бойка некоторых из них равняется 100 мм.

Эти молоты служат для изготовления небольших вогнутых изделий. Наковальни точно так же двух различных типов, одни с закругленными концами дляковки заготовок, а другие — квадратные, удлиненные и плоские для различных вогнутых изделий.

На рисунке видно, что рабочие выполняют три рода операций. Одни из них проковывают листовую заготовку, которую они держат и подают ее параллельно и постепенно под молот, чтобы проковать по всей поверхности. Проковав плиту в одном направлении, рабочий поворачивает ее и проковывает в перпендикулярном направлении.

После двух таких проковок листа его отжигают, помещая на колосники печи, в которой разводят огонь. Отжиг продолжается около полутора часа. Когда медь раскалится до-красна, огонь прекращают и дают плитам остыть. Для отжига пользуются ивовыми или ореховыми дровами.

Когда плоские плиты остынут, их снова проковывают и отжигают вторично. Эти операции продолжают до тех пор, пока не будет достигнута требующаяся толщина. Из готовой плиты вырезают ножницами круглую заготовку. Применяющиеся в этой мастерской ножницы, как видно на рис. 1080, не представляют каких-либо особенностей. Таким образом заготавливают целую партию заготовок в триста или

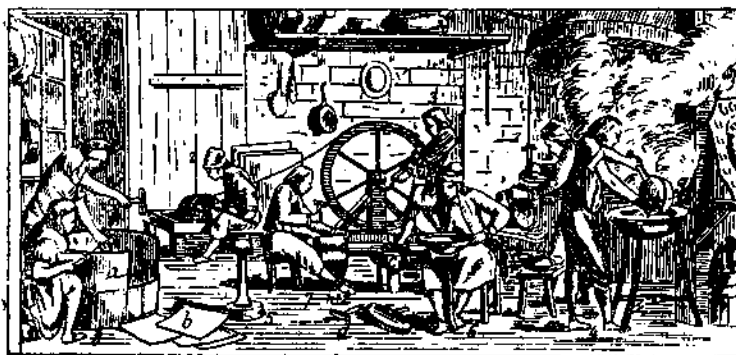


Рис. 1081.

четыреста штук для котлов четырех размеров, которые в готовом виде должны входить друг в друга.

Для этого берут четыре заготовки. Диаметр самой большой из них на 23 мм больше диаметров трех других. На эту заготовку накладывают три других и загибают ее борт, который захватывает остальные заготовки, после чего их выгибают молотком одновременно. При этой работе пользуются молотом с штамповальным бойком и плоскими наковальнями или вогнутыми наковальнями, соответствующими выпуклости, придаваемой изделию. Котлы по мере обработки отжигают совершенно так же, как и плиты. Работа производится таким образом, что все заготовки выгибаются одинаково и одновременно. Донья котлов выбиваются в чашкообразную форму, при чем медь выгибается

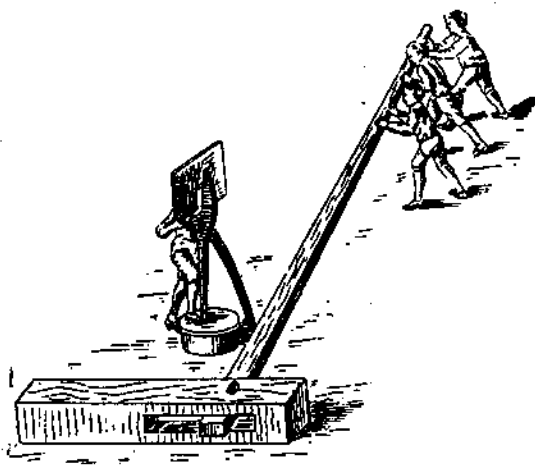


Рис. 1082.

под молотом у хорошего рабочего так же легко, как выгибается воск под руками ваятеля.

После штамповки изделия обрабатывают на токарном станке (рис. 1081).

Толщина медных заготовок колеблется между 8—10 мм. В исключительных случаях толщина их доходит до 23 мм, а вес достигает 215 до 217 кг.

Перед обрезкой заготовок они поступали на батарею молотов для вытяжки. Они служили доньями для больших котлов. Донья вырезают ножницами, изображенными на рис. 1082. На этом рисунке

Рабочий должен, насколько то возможно, соблюдать плавность перехода геометрических форм. Крупные изделия выделяют из нескольких частей, которые затем склепываются (рис. 1088).

Открытые с обеих сторон штамповки, присоединяемые к изделиям цилиндрической или конической формы или соединяющие такого рода изделия между собой, выделяют из цилиндрических и конических цельнотянутых или свернутых колец. Фланцы к ним приваривают, припаивают, а иногда приклепывают.

При небольшом диаметре такие трубы изготовляют из одного листа. При больших диаметрах их свертывают из двух или нескольких листов, швы которых располагают по образующим или директрисам. Так, например, цилиндрическое изделие (рис. 1089) с нормальной закрайкой, загиб которой соответствует четверти окружности, изготовляют из листа, соответствующего развернутому цилиндру. Длина листа равняется длине ABC образующей готового изделия или несколько короче ее, а ширина равняется $2\pi r$ (от 20 до 60 мм), т. е. окружности цилиндра плюс припуск на образование шва.

Цилиндру придают более или менее правильную форму, или на прокатном стане или гладильным молотком, после чего постепенно отгибают борт. Металл удлиняется во всей отгибаемой части. Не следует слишком растягивать длины окружности раструба, удлинение которой пропорционально $\frac{r' - r}{r}$.

Чтобы раструб плотно прилегал к трубе (рис. 1090), часть его сильно осаживают или, вернее, осаживают постепенно, по мере образования раструба. После сварки остается только выравнять изделие.

Трубы, служащие для соединений между собой отдельных частей котлов (рис. 1091), изготовляются с двумя раструбами. Заготовка для такой трубы изображена на том же рисунке. Длина последней равняется длине l цилиндра с некоторым припуском соответственно ширине отгибаемого фланца. Ширина заготовки равняется $\pi d + c$, где c — припуск на образование шва.

Заготовку сгибают в трубу, которую сваривают, после чего раструб растягивают колотушкой или молотком на соответствующей наковальне.

Если фланец значительной величины, то его выгибают при непрерывном поворачивании. Раструб должен быть одинаковой толщины во всех своих частях. Для этого при вытяжке заготовки, ей следует придавать такие припуски, чтобы удлинение металла при выделке было возможно меньше. Во избежание разрыва фланца по линии сварного шва к каждому концу приваривают язык, толщиной от 7 до 8 мм и шириной от 50 до 60 мм.

Если изделие имеет коническую форму, то форма заготовки соответствует развернутому конусу $A'B'C'D'$ (рис. 1092) с припусками, соответствующими ширине фланца и шва. При изготовлении значительного количества таких изделий необходимо предварительно заготовить соответствующие лекалы.

Иногда фланцы соединительных труб делают квадратной или прямоугольной формы (рис. 1093). В этом случае цилиндрической или конической части $ABCD$ придают незначительную вышину. Длина заготовки принимается равной длине окружности среднего конуса $A'E'F'D'$. По ширине заготовки делают припуск, равный высоте цилиндрической части изделия. Сперва отгибают цилиндрическую часть трубы, после чего сгибают заготовку в кольцо. После этого выгибаемые части фланца заканчивают по лекалу. Изготовление изделий более или менее

сложной, но правильной формы (рис. 1094), основывается на тех же принципах и процессах, а именно: постепенном сгибании и штамповании заготовки, соответствующей развернутой форме изделия. Более сложные формы часто разбивают на несколько составляющих частей, которые затем спаивают или сваривают.

Изделия формы, изображенной на рис. 1095, преимущественно выштамповывают в виде конуса $A'B'C'D$, окружность которого CD несколько растягивают, а части по образующим изделия сжимают. Заготовке придают форму $ABCD$ поверхности развернутого конуса, затем ее свертывают, сваривают и штампуют.

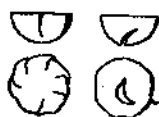
Чем уже должна быть средняя часть изделия, тем больше вытягивают металл других ее частей. Это облегчает значительно работу.

Другой способ, применяемый при изготовлении небольших изделий, заключается в том, что заготовке предварительно придают кривизну, соответствующую образующей изделия, а затем только сгибают в кольцо.

Таким образом изготовляют полукольца (рис. 1096). Заготовке в этом случае придают прямоугольную форму, соответствующую среднему цилиндру. При значительном диаметре кольцо изготовляют из двух одинаковых полуколец, спаянных друг с другом. Для изготовления колена (рис. 1097) пользуются двумя полукольцами, спаивая их вместе по линии ABC .

Штампование в матрицах пуансонами.

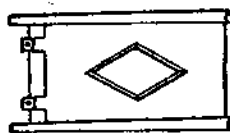
Если форма изделия допускает применение матриц или штампов, то штампование производят под прессом или под молотом. Если деформация незначительная, то процесс выливается в одну операцию. В противном случае он сводится к нескольким операциям в матрицах постепенно изменяющейся формы. При холодном штамповании заготовку приходится отжигать по нескольку раз, а при горячем — разогревать перед каждой последующей операцией.



Эти последовательные операции имеют целью избежать образование складок и разрывов металла.

Рис. 1098—1099.

Штампованные в матрицах изделия обычно имеют форму тел вращения и выделяются из круглых заготовок.



Слишком большая деформация сопровождается образованием складок, как то показано на рис. 1098, или разрывов, как на рис. 1099.

Для штампования колпаков, а также днищ котлов, применяющихся для варки сахара, пользуются молотами от 10 до 25 тонн или прессами.

Инструменты, которые употребляются для штампования изделий с цилиндрическими загнутыми под прямым углом бортами, как, например, доньев сосудов, не могут произвести загиба листа под таким острым углом, который после усадки вследствие охлаждения, становится прямым углом.

Поэтому борт изделия получает коническую форму.

Для придания ему цилиндрической формы требуется дополнительная операция, заключающаяся в нагреве и выравнивании борта молотком. Этой операции можно избежать, помещая изделие по выходе из пресса в матрицу, охватывающую борт и стягиваемую по желанию.



Рис. 1100.

Штампование в матрицах производится гораздо скорее штампования молотком, но требует большого количества матриц соответствующих размеров, тогда как при штамповании молотком количество разного рода оправок и наковален очень ограничено.

Штампование в матрицах особенно выгодно при производстве больших партий одинаковых изделий, которые можно получать в одну операцию, как, например (рис. 1100 и 1101) лемехов, железнодорожных железных шпал и других.

Заготовки изготавливаются таким образом, чтобы толщина их равнялась толщине готового изделия, так как при большой толщине заготовки потребовались бы очень большие усилия. Тем не менее необходимо придавать изделию окончательную форму достаточно сильным давлением, которое можно определить только опытным путем.

Под ударами молота штампуют только небольшие изделия, не требующие сильных деформаций заготовки, так как в противном случае быстрота действия инструмента может вызвать разрывы металла.

Целый ряд скобяных и жестяных изделий и инструментов штампуют под паровыми молотами, станина которых образует стол для укрепления матриц (рис. 1102—1103).

Для штампования глубоких изделий предпочитают пользоваться прессами и используют все способы к уменьшению числа операций и предупреждению образования складок. Рассмотрим в виде примера процесс штампования цилиндрического изделия под прессом (рис. 1106).

Круглую заготовку помещают на нижний пуансон *I*, служащий опорой (рис. 1105 и 1106). Заготовка лежит на кольце *R* матрицы, которое следует за вертикальным движением пуансона, соединенного с кривошипным механизмом пресса. Одновременно поршень, помещающийся внутри пуансона *I*, под давлением спиральной пружины задерживает заготовку на торце пуансона *I*. Таким образом заготовка удерживается по всей ее поверхности, пока пуансон *I* идет книзу, выполняя первую операцию. Последующие формы изделия получаются точно таким же путем (рис. 1107).

Рисунки 1108 изображают последовательные изменения заготовки толщиной в 1 мм при двух пропусках.

На рис. 1109 приведено приспособление для штампования тонких изделий одной операцией.

Нижняя матрица состоит из отливки *B* с коническим отверстием, в котором уложен друг на друга ряд концентрических колец. Верхняя

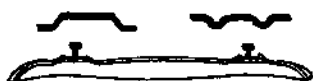


Рис. 1101.

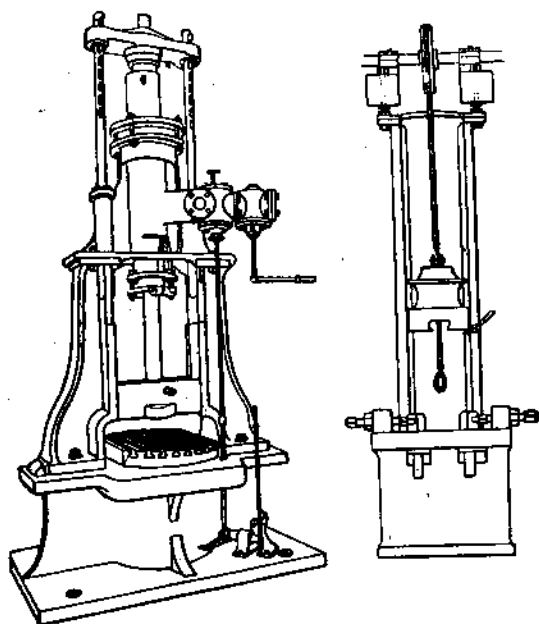


Рис. 1102—1103.

матрица, движущаяся вертикально, состоит из пуансона *A*, окруженного несколькими кольцами *C*. Таким образом, верхняя матрица, опускаясь, все время прижимает края заготовки к кольцам *B* нижней матрицы.

Кроме того, края заготовки в начале операции задерживаются планками *D*. Несколько таких планок размещаются по всей окружности отверстия матрицы.

Заготовка *F* выгибается книзу пуансоном *A* и окружающими кольцами *C*, которые поочередно останавливаются, когда заготовка касается нижней матрицы. Таким образом заготовка удерживается по всей окружности до тех пор, пока пуансон *A* не дойдет до нижнего калибрующего цилиндрического отверстия *I*, проходя через которое заготовка вытягивается в трубку *T* значительной длины и небольшого диаметра (рисунок 1110).

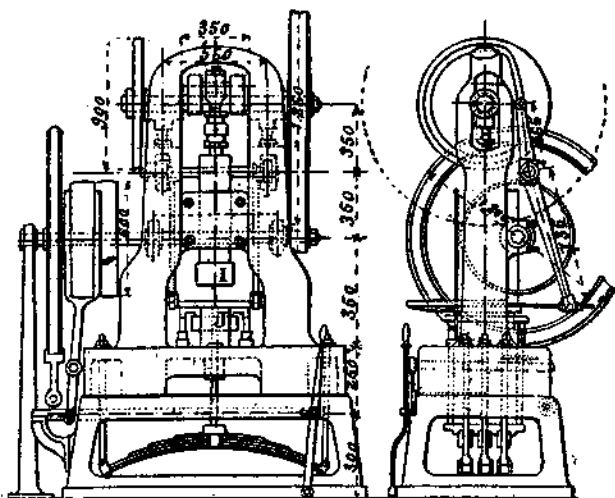


Рис. 1104.

Последний процесс скорее представляет собой протяжку, нежели штампование в чистом смысле этого слова. Таким образом, операция разделяется на производство двух деформаций, резко отличающихся друг от друга.

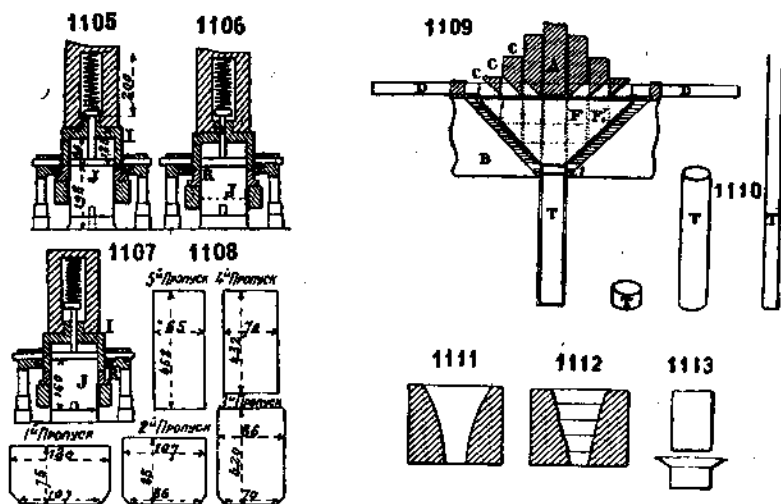


Рис. 1105—1113.

Иногда вытяжную матрицу делают не гладкой, как показано на рис. 1111, а ступенчатой, как на рис. 1112 ¹⁾.

Уступы могут иметь изогнутый или прямолинейный профиль, или же состоять из соединенных друг с другом прямолинейных и изогнутых частей.

¹⁾ Патент Шнейдер и К^о, 10 апреля 1884 г.

Каждый из уступов матрицы может быть также образован отдельным кольцом.

Помимо других преимуществ такая форма матрицы облегчает смазку. Смазка лучше удерживается на ступенчатой поверхности, не-

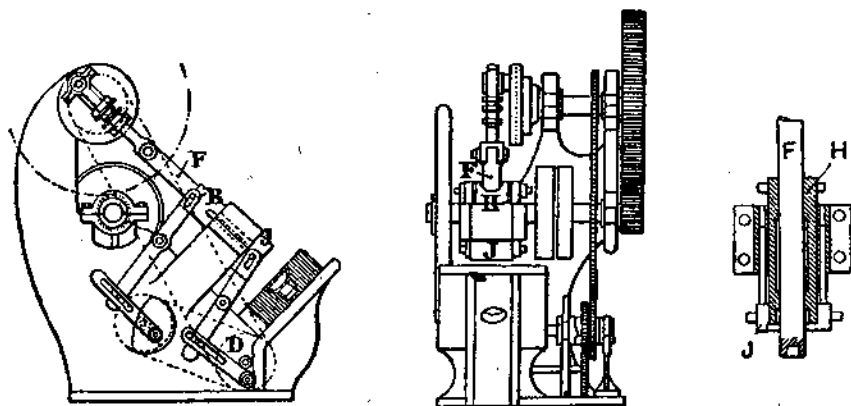


Рис. 1114—1116.

жели на гладкой, вследствие чего трение уменьшается и металл лучше деформируется.

Ступенчатая поверхность успешно применима не только к вытяжным, но и к обжимным матрицам.

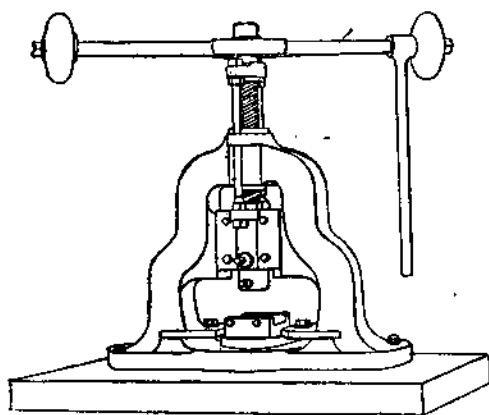


Рис. 1117.

Смазка производится маслами и жирами, которые смешивают с графитом или другими металлическими смазками, как, например, с раствором медного купороса.

При изготовлении в одну операцию изделия, состоящего из цилиндрической и конической частей (рис. 1113), а также при штамповании глубоких цилиндров, необходимо сильно задерживать заготовку, во избежание образования складок и деформаций при переходе конической части изделия в цилиндрическую.

Матрицы располагают на пресстаким образом, чтобы они могли действовать в любой момент. Так, например, в прессе (рис. 1116 и 1115) ¹⁾ первая, допустим, цилиндрическая матрица, устанавливается на поршне *F* (рис. 1116), для чего в этом поршне делают отверстие с резьбой, в которую ввинчивается матрица. На кольцевом пуансоне *H*, охватывающем поршень *F*, навинчена матрица промежуточной формы, которая после зажима заготовки производит предварительное штампование. Окончательное же штампование производится опусканием матрицы, укрепленной на поршне *F*.

¹⁾ Машина Delisy et Audin. Патент 11 июня 1890 г.

На третьем кольцевом поршне / навинчено кольцо, задерживающее заготовку и прижимающее ее к матрице, в то время как последняя под действием различных частей машины выполняет свои последовательные движения.

Стол пресса сделан наклонным для облегчения выпадения готовых изделий.

Штамповальные прессы строятся самых разнообразных типов, из которых мы рассмотрим здесь только некоторые.

Винтовые прессы (рис. 1117—1121) применяются для производства небольших штамповок. Они приводятся в действие вручную.

При механическом приводе предпочитают пользоваться кривошипными прессами. Горизонтальный пресс такого типа изображен на рис. 1119.

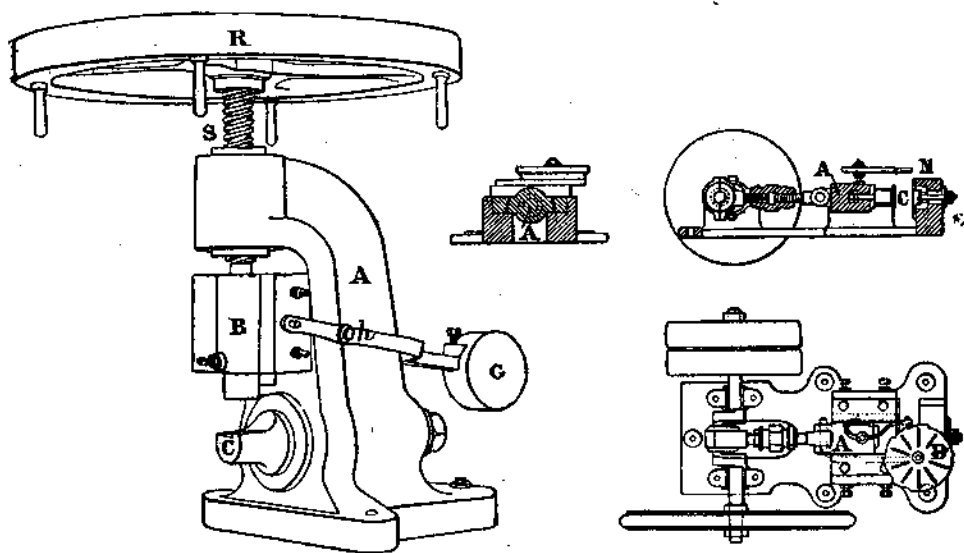


Рис. 1118—1119.

Иногда для производства небольших штамповок, нижняя матрица делается револьверной (рис. 1120). Она представляет собой диск с рядом отверстий по окружности. Диск поворачивают вокруг оси, подводя отверстия поочередно под пуансон. Вертикальные прессы строятся также с эксцентриками, приводимыми в движение шатунами и кривошипами. Они развивают давления свыше 50 тонн.

Иногда, как то показано на рис. 1121, изображающем пресс завода Блисс (Bliss) в Бруклине, последний приводится в действие непосредственно паровым двигателем. На этой машине можно штамповать заготовки диаметром до 1,50 метра при диаметре матрицы в 1,40 метра.

Мы не можем входить в детали работы этих машин, несмотря на всю важность правильной регулировки относительных положений матриц в конце каждого хода.

Перед штампованием необходимо хорошо отрегулировать относительные движения матриц. Такая регулировка производится путем штамповки нескольких пробных изделий, которые тщательно обмеривают.

Если на окружности изделия получаются складки, то это значит, что заготовка недостаточно прижимается к опорному кольцу.

Образование складок на одной только стороне заготовки показывает, что она плохо зажимается с этой именно стороны, вследствие чего это место и следует отрегулировать.

Если отрывается дно изделия, то это значит, что относительная длина хода инструментов слишком велика, и ее надо уменьшить. Недостаточный обжим дна, наоборот, указывает на недостаточно длинный относительный ход инструментов, который надо увеличить. Перекос изделия указывает на несимметричность действующих на него давлений.

Матрицы должны хорошо смазываться для уменьшения трения и предупреждения трещин и разрывов металла.

В механизмах, приводящих в действие матрицы, не должно быть никакой игры от изнашивания их частей. Это особенно важно при штамповании изделий из тонких листов.

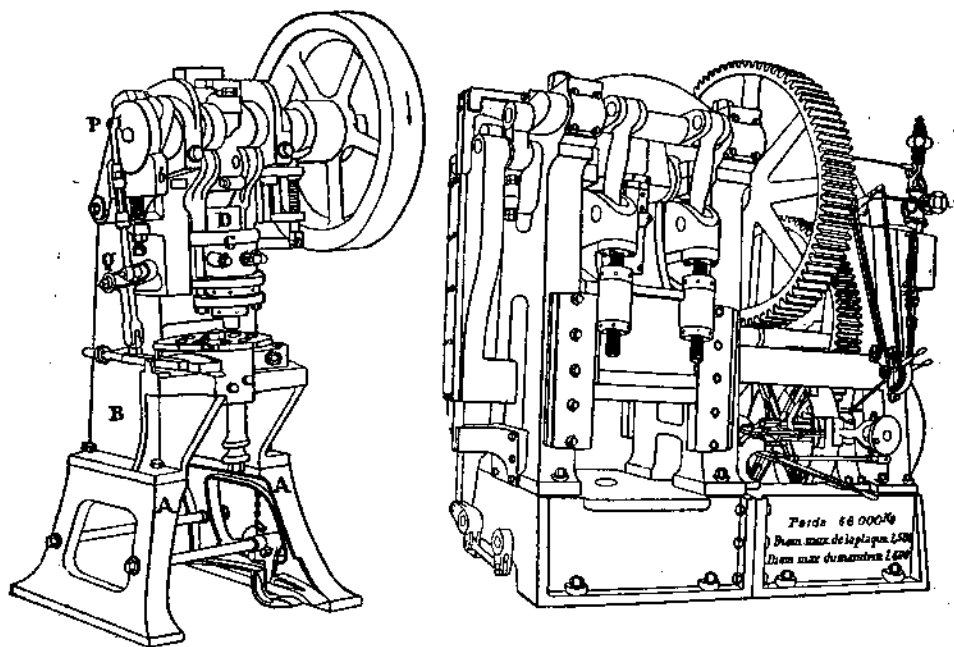


Рис. 1120—1121.

Для штампования крупных котельных частей требуются мощные паровые или гидравлические прессы с соответственно устроенными столами для установки матриц. Прессы, изображенные на рисунках 1122—1123, служат специально для штампования таких изделий, как крышек котельных лазов, горловин автоклавов, тиглей, черпаков землечерпальных машин, элеваторных черпаков, небольших поршней, дисков для ножиц и т. п.

Прессы, изображенные на рис. 1124 и 1127, применяются для штампования днищ больших цилиндрических котлов, трубных досок, крупных поршней, топочных сводов, заготовок сосудов, цельнотянутых труб, черпаков драг и т. п. (рис. 1129).

Гидравлические или паровые прессы не обладают недостатками, свойственными механическим прессам с жестким приводом. Усилия этих прессов можно в известных пределах регулировать. Можно также регулировать их скорости, изменяя скорость поступления жидкости.

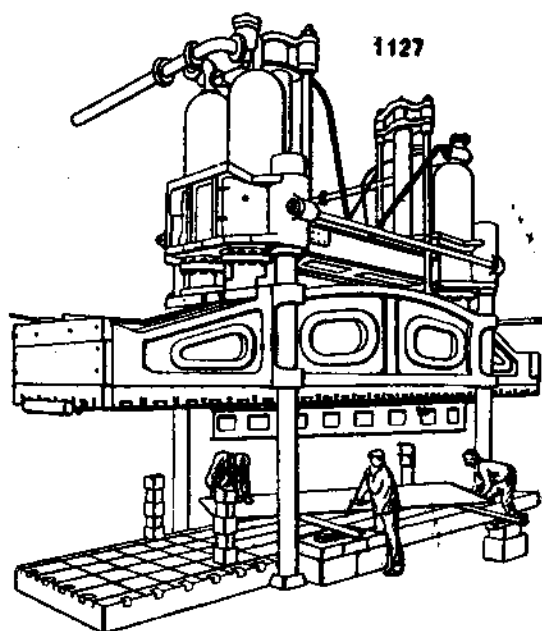
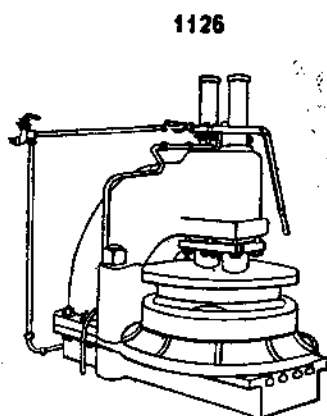
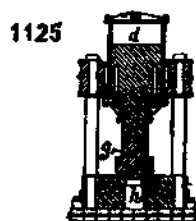
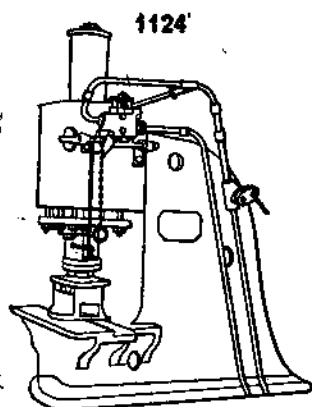
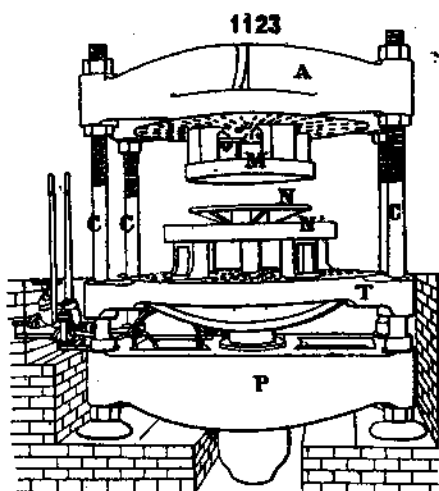
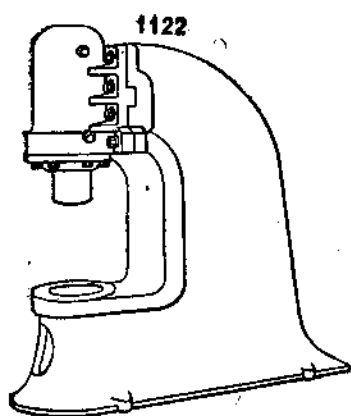


Рис. 1122—1127.

Паровой пресс (рис. 1126) успешно применяется при производстве крупных штамповок. Он позволяет также развивать несколько быстродействующих давлений.

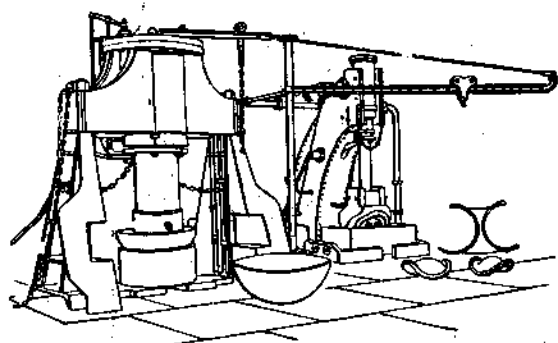


Рис. 1128.

На рисунке 1128 изображен пресс, установленный на заводе Галлоуэя, для производства сферических штамповок топочных труб его системы.

Усилие штампования.

Для расчета усилий при штамповании геометрически подобных изделий в одинаковых условиях, при работе под прессом можно воспользоваться формуламигиба круглых заготовок. Предполагается, что

заготовки лежат на опорах своими окружностями, а давления действуют на центральные части их поверхностей.

Однако, так как условия приложения давлений чрезвычайно разнообразны, так же как диаметры и опорные поверхности, то и усилия во время операции колеблются в широких пределах, как то можно видеть по приводимым ниже результатам опытов. Вследствие этого приходится ограничиваться расчетом только максимальных давлений. Обычно максимум давления соответствует концу штампования, т. е. тому моменту, с которого начинается вытяжка изделия. В этом случае относят усилие P к кольцевому сечению заготовки, вследствие чего:

$$P = \frac{\pi(d^2 - d'^2)}{4} R.$$

Усилие P точно также является функцией толщины e и среднего диаметра d заготовки, а именно:

$$P = \pi d e R.$$

Напряжение будет:

$$R = \frac{4 P}{\pi (d^2 - d'^2)}$$

или же:

$$R = \frac{\pi d e}{P}.$$

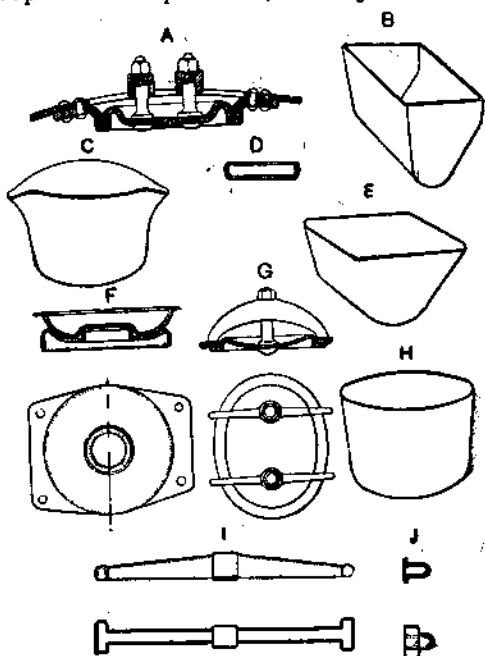


Рис. 1129.

Опыты над штампованием.

Условия и результаты опытов над штампованием приведены в таблице № 36 и на диаграмме, рис. 1130. Опыты производились при обычных колебаниях рабочих усилий.

Опыт № 4 дает предельное усилие, равное сопротивлению разрыва кольцевого сечения. Сопротивление это проявляется, как только заготовка принимает цилиндрическую форму. Поэтому, чтобы не оторвать дна заготовки, не следует допускать такой разности сечений матрицы и пуансона, которая могла бы вызвать столь сильную вытяжку.

Обычно принимают такое уменьшение толщины металла, при котором исчезают образующиеся на поверхности его складки. Кроме того, при штамповании в закрытых матрицах и в тех случаях когда металл сильно сжимается между инструментами, максимальное усилие значительно возрастает, вызывая сильное окончательное сжатие, аналогичное сжатию, происходящему при ковке в матрицах.

В зависимости от характера изделия величину усилия можно определить непосредственно по усилию, развиваемому машиной. Усилия эти колеблются от 1 до 30 кг на квадратный миллиметр, а иногда даже больше, и зависят от свойств металла и его температуры.

Мы произвели ряд опытов, пользуясь различными круглыми заготовками из очень мягкой отожженной стали диаметром 340 мм и разной толщины e . Диаметр пуансона равнялся 160 мм, а диаметр матрицы $(160 + 2,2 e)$ мм. Матрицы давали приблизительно полушарические заготовки без вытяжки. Отношение максимального усилия к толщине заготовки несколько возрастает с увеличением толщины, как то можно видеть в следующей таблице:

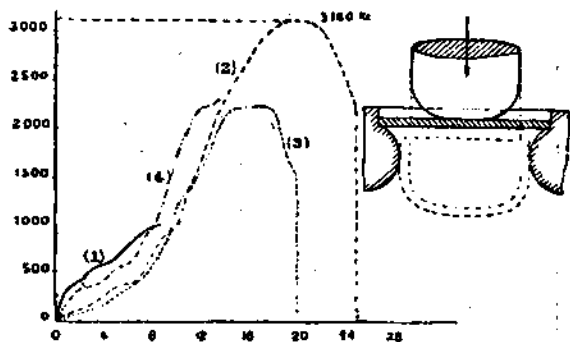


Рис. 1130.

Толщина диска в мм	5	8	10	15	18	20
Максимальное усилие P кг	29 300	53 500	66 900	109 000	132 000	152 000
Отношение $\frac{P}{e}$	5 860	6 680	6 690	7 266	7 333	7 600
Давление на кольцевое сечение кг/мм ²	9,4	10,2	10	11,5	11 57	12

Зная значение R , можно довольно точно рассчитать максимальные усилия, потребные для штампования при вишнево-красном калении без вытяжки таких крупных изделий, как котельных днищ, трубных досок, принимая R , примерно, в пять раз меньше значения приведенного в таблице. Таким образом, при штамповании заготовки из

Опыты над штампованием.

Таблица 36.

№№ по порядку	Характеристика образца	Диаметр	Сечение	Глубина	Усилие кг	Примечание
1	Медная неотожженная круглая заготовка толщиной 3 мм . .	59,7		1	330	Так как диаметр пуансона слишком мал, изделие деформировалось равномерно. При усилии в 980 кг пуансон углубляется порывом. Максимальное усилие на мм² кольцевого сечения равняется $R = \frac{980}{917} = 1,07 \text{ кг/мм}^2$.
	Матрица	43,8	1506,7	2	400	
	Пуансон	27,4	589,7	4	550	
	Кольцевое сечение .		917,0	6	760	
				8	950	
				9	980	
2	Медная отожженная круглая заготовка толщиной 3 мм . .	51	881,41	1	80	Заготовка перекосилась. На практике кромку заготовки выравнивают пилой или снимают на токарном станке. $R = \frac{3140}{417,61} = 7,54 \text{ кг/мм}^2$.
				2	120	
				3	180	
				4	270	
				6	380	
	Матрица	33,5	463,80	8	760	
				10	1000	
	Пуансон	24,3	417,61	12	1660	
				14	2350	
	Кольцевое сечение .			16	2720	
				18	3030	
				19 до 21	3140	
				22	3000	
				25	2400	
3	Медная неотожженная круглая заготовка толщиной 3 мм . .	45	892,0	1	80	Высота штамповки равнялась 18,7 мм. $R = \frac{2210}{361,2} = 6,1 \text{ кг/мм}^2$.
				2	110	
				3	130	
				4	210	
				6	380	
	Матрица	33,7	530,8	8	600	
				10	1220	
	Пуансон	26	361,2	12	1660	
				14	2160	
	Кольцевое сечение .			15 до 17	2210	
				18	2160	
				19	1700	
				20	1510	
4	Медная неотожженная круглая заготовка толщиной 3 мм . .	39	271,8	1	220	Произошел отрыв дна штамповки. Это указывает, что диаметр пуансона слишком мал. Сопротивление металла разрыву равнялось 24 кг/мм² кольцевого сечения $R = \frac{2400}{99,8} = 24,01 \text{ кг/мм}^2$.
				2	340	
				3	340	
				4	440	
				5	550	
	Матрица	18,6	172,0	6	570	
				7	840	
	Пуансон	14,8	99,8	8	960	
				9	1300	
	Кольцевое сечение .			10	1700	
				11	1981	
				12	2200	
				13	2400	

железного листа диаметром 1 м и толщиной 15 мм, площадь кольцевого сечения равняется приблизительно $\pi de = 3,14 \times 1000 \times 15 = 47\,100 \text{ мм}^2$. При значении R , равном двум килограммам, максимальное усилие будет равняться 94 200 килограммам.

Штампование гидравлическим давлением.

Холодное штампование изделий незначительной толщины производится также гидравлическим давлением.

Заготовку F (рис. 1131) помещают на плоскую часть матрицы E и зажимают второй матрицей E' , пригнанной настолько плотно, что между ними получается водонепроницаемый стык. Под заготовку вводят под достаточным давлением жидкость, выпирающую ее и придающую ей форму углубления матрицы E . Процесс этот применяется только в немногих специальных случаях, как, например, для штампования волнистых топочных труб и т. п. Гидравлический способ не пригоден для обычных работ, так как очень трудно достигнуть непроницаемости стыка.

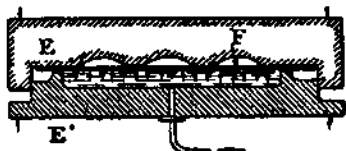


Рис. 1131.

При гидравлическом штамповании в горячую предпочитают действовать давлением непосредственно на матрицы. С этим процессом мы встретимся во втором томе настоящего труда.

Давлением жидкости внутри штамповки, например, внутри штампованного сосуда, пользуются, чтобы восстановить его первоначальную форму, если последняя подверглась деформации. Таким образом, можно выправлять шаровые поплавки, впуская в них пар или еще лучше воду под давлением.

Токарно-давильный процесс.

Токарно-давильный процесс заключается в том, что изделию придают вращательное движение и одновременно путем давления на металл заставляют последний принять форму оправки. Того же результата можно достигнуть, закрепляя изделие неподвижно и придавая инструменту вращательное движение. Процессом этим пользуются преимущественно для окончательной отделки изделий, выштампованных под прессом, т.-е. для заглаживания всех остающихся на них следов складок.

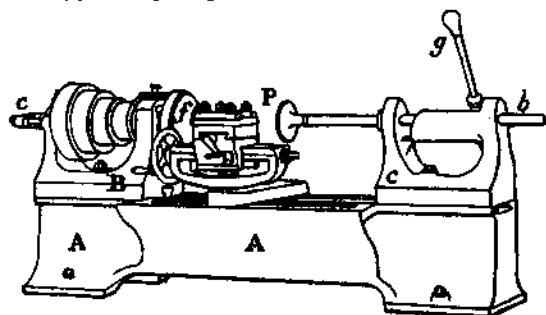


Рис. 1132.

с продольной и поперечной подачами. Шпиндель P удерживает изделие на оправке.

На рис. 1133 изображен давильный станок с вращающимися инструментами. Инструменты установлены на планшайбе, так что их можно по желанию приближать к центру или удалять от него действием

Токарно-давильный станок сходен с обыкновенным токарным станком. На рис. 1132 изображен такой станок для обработки вращающегося изделия роликом, установленным на суппорте,

установочного винта. Изделие укрепляется на суппорте, устанавливаемом между двумя планшайбами. Положение суппорта можно по желанию изменять.

Этим процессом на токарных станках изготовляют из прямых или конических труб полые изделия любой формы и сечения с параллельными выступами и углублениями как прямолинейными, так и вин-

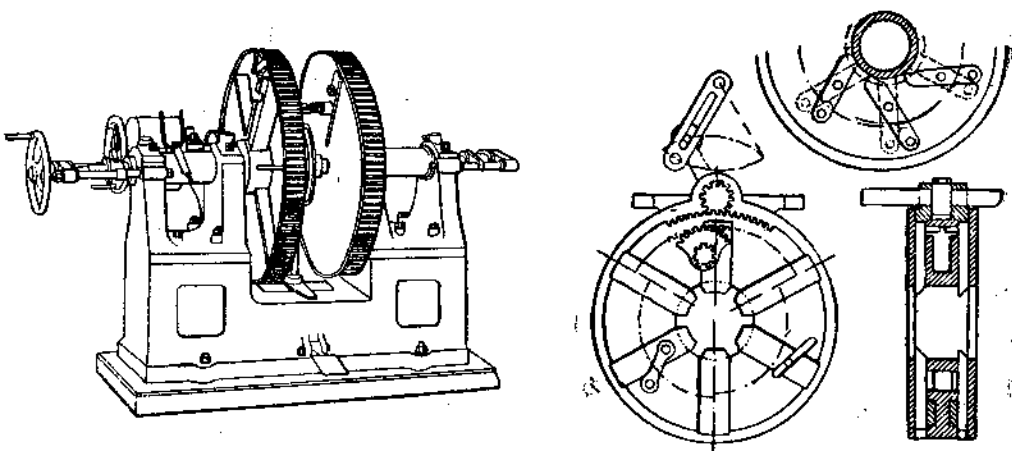


Рис. 1133—1134.

товыми, равномерными, более или менее рельефными и самых разнообразных фасонов. Для этого на диске (рис. 1134), имеющем продольное движение, устанавливают несколько давящих инструментов, которые, кроме того, можно передвигать перпендикулярно к оси вращения в зависимости от производимых деформаций. Инструменты закрепляют на универсальной планшайбе. Положение их

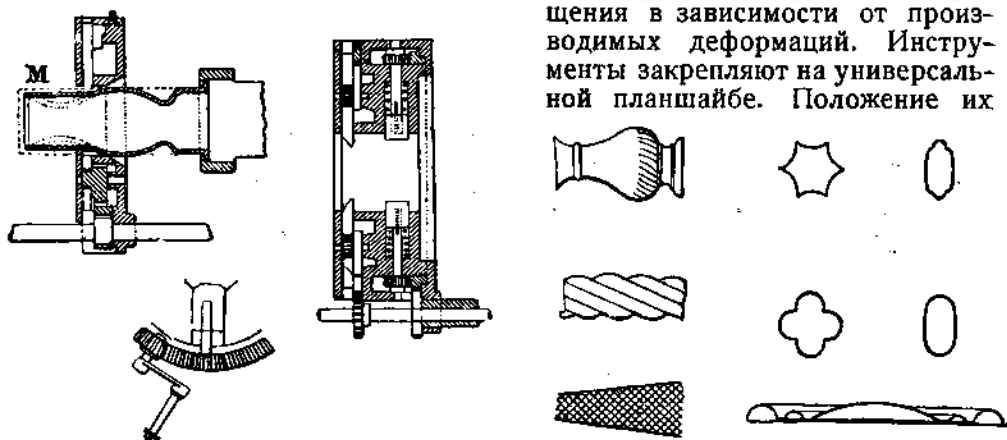


Рис. 1135—1136.

относительно оси изделия изменяют или автоматически, или вручную, пользуясь лекалом, соответствующим форме изделия. Так, например, выдавку изделия, изображенного на рисунке 1135, начинают с конца М, медленно двигая планшайбу А вперед по мере вращения изделия, сближая между собой инструменты при сужениях изделия и разводя их при увеличении его диаметра. Комбинируя вращательное движение изделия и прямолинейное движение инструментов, можно придавать изделиям всевозможные формы (рис. 1136).

Изделия, имеющие формы тел вращения, изготавливающиеся из цилиндрических или конических заготовок, как, например, волнистые кольца, получают путем прокатки между двумя валками или роликами, сходными с изображенными на рис. 1137 и 1138.

Этот процесс представляет собой частный случай прокатки.

Приведем в виде примера производство железных ведер комбинированным процессом штампования и выдавки.

Для производства ведер пользуются круглыми заготовками (рис. 1139) равномерной толщины, равной толщине стенок готового ведра. Штампование производят в холодную, не изменяя сколько-нибудь значительно толщины металла. Первая операция (рис. 1140)

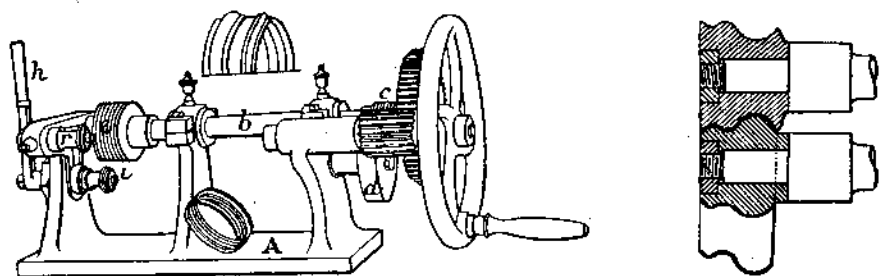


Рис. 1137—1138.

заключается в том, что заготовку *A* помещают на цилиндрическую матрицу *B*. На фланец этой матрицы опускают зажимающее кольцо, которое под действием гидравлического или механического пресса производит на окружности заготовки давление, удерживающее ее, пока идет книзу пуансон *D*, в точности пригнанный к этому кольцу и входящий затем в цилиндр *B*, радиус которого превышает радиус поршня на толщину листа.

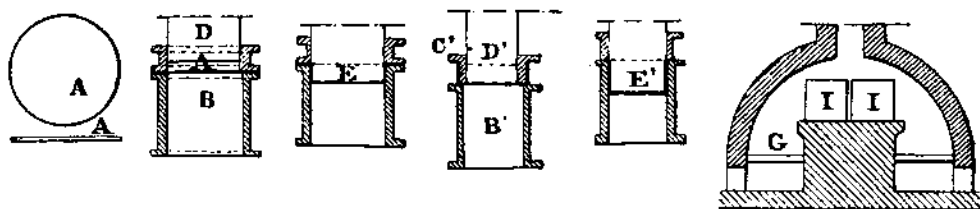


Рис. 1139—1144.

Верхняя внутренняя кромка матрицы *B* закруглена. При опускании пуансона *D* заготовка равномерно выгибается и, несколько вытягиваясь, опускается вместе с поршнем в матрицу *B*, принимая форму *E* (рис. 1141). После этого заготовку переносят на другую матрицу (рис. 1142), состоящую из цилиндра, диаметр которого меньше предыдущего приблизительно на 0,05 м. На окружность и на дно изделия опускают кольцо *C'*, которое плотно зажимает закраину на верхней половине цилиндра *B'*. После этого поршень *D'* опускается, слегка вытягивая металл на верхней закругленной окружности матрицы *B'*, вследствие чего изделие принимает форму *E'* (рис. 1143).

Операции продолжают таким же образом дальше в матрицах с постепенно уменьшающимся диаметром, вследствие чего длина изделия постепенно возрастает, а диаметр уменьшается.

Такая операция делает металл хрупким, а потому после двух или трех последовательных пропусков его необходимо отжигать.

Отжиг производится в печи (рис. 1144), при чем изделия помещают в металлические ящики, предохраняющие металл от непосредственного соприкосновения с пламенем.

Иногда на окружности изделия образуются складки. Чтобы за-
гладить эти складки, изделие после отжига помещают на оправку (рис. 1145), прикрепленную к вращающейся планшайбе. После этого



Рис. 1145—1148.

вводят в соприкосновение с изделием ролик *O*, установленный на токарном суппорте, которым и заравнивают неудовлетворительные части изделия.

В этой стадии производства ведро имеет цилиндрическую форму. Для придания ведру конической формы его штампуют между матрицей *P* (рис. 1146) и пуансоном *Q*, придающим ему свою форму. Вслед затем изделие переносят в коническую матрицу, установленную на токарно-давальном станке (рис. 1147) и крепко прижимают внутри роликом *S*. Ролик посажен на рычаге *T*, укрепленном в суппорте станка.

Коническая форма изделия достигается несколькими пропусками ролика.

Наконец, изделие штампуются в последний раз между матрицей *U* и коническим пуансоном *V* (рис. 1148), придающими ведру окончательную форму.

После этого остается только приклепать ушки для рукоятки и припаять обруч к основанию ведра, а затем оцинковать его.

ГЛАВА VII.

Процессы кручения.

Кручение, т.е. угловой сдвиг волокон или кристаллов металла относительно продольной оси изделия, вызывает образование винтообразных форм.

Незначительное скручивание изделия применяется для приведения отдельных его частей в правильное положение относительно друг друга. Таким образом, разворачивают, например, кривошины коленчатых валов. Последние в количестве двух, трех, четырех и более обычно выковывают в одной плоскости, вследствие чего их приходится разворачивать на значительные углы. Так, если трехколенчатый вал откован в одной плоскости (рис. 1149), то колена приходится закручивать на 120 градусов.

Угловое относительное перемещение волокон металла тем больше, чем меньше расстояния между коленами. Поэтому для уменьшения момента кручения и облегчения перемещения частиц металла операцию следует производить в горячую.

Кручение применяют также для деформации пакетов железа и стали при производстве оружия для получения дамаска или булата. Кручение придает дамаску однородный рисунок, зависящий от способа составления пакета и его обработки. Процессы скручивания имеют также место при прокатке труб и прутьев между вращающимися дисками, при вытяжке на оправках рубчатых труб, при изготовлении скалок поршней с целью достижения однородности металла по образующим.

Горячий процесс кручения применяется также при изготовлении цепей со скрученными звеньями, а также при производстве различных инструментов, рычагов, гаечных ключей и т. п. (рис. 1149).

Кручением также пользуются при производстве некоторых инструментов, например, буравов и сверл.

Кручению подвергают также разного рода изделия прямоугольного сечения для увеличения их сопротивления изгибу.

Кручение применяют также при производстве проволочных тросов. Вообще же можно сказать, что процессом этим пользуются очень редко.

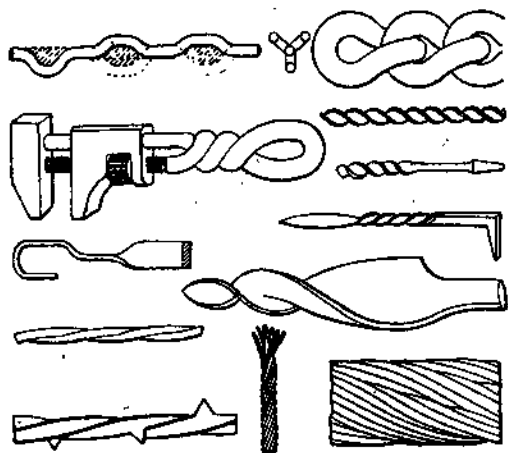


Рис. 1149.

ГЛАВА VIII.

Термическая обработка стали¹⁾.

Форму и размеры некоторых изделий можно несколько изменять посредством местного нагревания и охлаждения металла. Кроме того, более или менее быстрые нагревания и охлаждения стали оказывают громадное влияние на физические свойства этого металла. На физические свойства стали значительно влияет также и повторное нагревание или отжиг с последующим медленным охлаждением. Подобного рода обработка металла называется термической обработкой.

Чтобы термическая обработка металла, в особенности стали, давала хорошие результаты, необходимо основательное знакомство со свойствами обрабатываемого металла. Это знакомство тем более необходимо, когда путем термической обработки стремятся изменить кристаллическую структуру и достигнуть однородности металла.

При термической обработке не пользуются какими-либо инструментами в том смысле как их принято понимать. В данном случае инструментами, с одной стороны, является печь или источник тепла, а с другой — охлаждающая среда или ванна.

Изменение формы и размеров.

Процесс термического изменения формы и размеров применяется для превращения цилиндрических колец и обручей в конические²⁾. При нагревании тонкого кольца до красного каления и при последующем охлаждении его в воде на протяжении некоторой части его ширины диаметр охлажден-

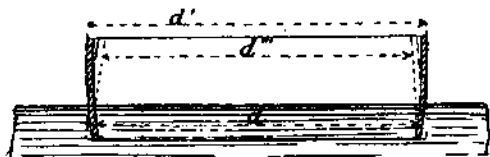


Рис. 1150.

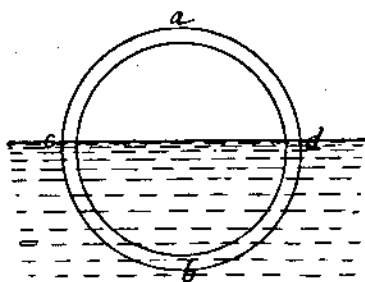


Рис. 1151.

ной части уменьшается вследствие быстрого сокращения металла. Вследствие этого сокращения сжимается прилегающий к нему еще горячий металл, от него происходит изгиб охлажденной части кольца. Так как сокращение металла распространяется все дальше и дальше,

¹⁾ Настоящая глава, несколько устаревшая в подлиннике, подвергнута частично переработке инж. А. С. Займовским под редакцией проф. Б. В. Старка.

²⁾ Процесс предложен впервые Клерком лет 25 тому назад.

то кольцо принимает коническую форму, при чем наклон образующей возрастает с увеличением числа операций, которым подвергается изделие.

Таким образом, начальный диаметр d кольца (рис. 1150) при равномерном нагревании увеличивается и принимает значение $d' > d$. При быстром охлаждении диаметр нижней части кольца уменьшается почти до первоначального размера d .

Такое сокращение нижней части кольца уменьшает диаметр его еще горячей части до величины d'' , средней между d и d' . Вслед за тем дальнейшее охлаждение этой горячей части дает диаметр d''' , меньший диаметра d .

В одном из произведенных опытов мы воспользовались кольцом со средним диаметром d , равным 320 мм, высотой 100 мм и толщиной 8 мм, при чем получились следующие результаты:

	d'	d''
1-е охлаждение	320,5	319 мм
2-е "	321	318 "
3-е "	322	316 "
4-е "	322	314 "
5-е "	322	312 "

Таким образом получилась разность диаметров в $322 - 312 = 10$ мм.

Процесс сжатия металла нагреванием и охлаждением иногда применяется при производстве экипажных колесных бандажей в тех случаях, когда приходится уменьшить диаметр на несколько миллиметров или даже сантиметров. Бандажи для этого нагревают попеременно, то на одном, то на другом конце. В зависимости от температуры нагрева и охлаждения можно уменьшить диаметр бандажного колеса на 10—20 мм в две операции.

При повторении операций можно опасаться трещин, если металл представляет собой сталь, или разварки, если металл представляет собой сварочное железо. Поэтому такого рода сокращения металла выгоднее производить при помощи обжимной оправки.

При изготовлении кольцевых изделий сравнительно небольшой высоты, как, например, ободов и в тех случаях, когда требуется усилить сжимающий эффект кольца, ему можно придать в одну или в две операции овальную форму. Операции заключаются в нагреве всего кольца и в быстром местном охлаждении одной его половины cbd (рис. 1151). При этой операции диаметр увеличивается в ту сторону, которая сохраняет высокую температуру, т.-е. по диаметру ab в сторону точки a , который вытягивается, уменьшая диаметр cd .

Повторяя операцию охлаждения для половины cad , получим удлинение кольца в сторону точки b . В результате кольцо еще больше вытягивается.

Таким образом можно значительно сжать кольцо, но получающееся сжатие будет недостаточно равномерно.

Продолжая операции по перпендикулярному диаметру, изделию можно постепенно придать свою прежнюю кольцевую форму, при чем внутренний диаметр кольца оказывается несколько больше, а наружный диаметр несколько меньше соответствующих первоначальных диаметров. Изменение диаметров происходит, главным образом, от удаления образовавшейся окалины.

Кольцо большого диаметра и с небольшим поперечным сечением можно нагревать по частям и обойтись без охлаждения водой.

Результаты опыта, приведенные в таблице 37, дают пределы, в которых происходят такие деформации и степень равномерности в зависимости от температур нагрева и охлаждения.

Этим процессом можно пользоваться лишь при выделке небольших сварных изделий. Что же касается изделий крупного диаметра, то результаты далеко уступают результатам, получающимся при нагревании и охлаждении колец на некоторой части их высоты.

Закалка, отжиг, отпуск.

Быстрое охлаждение нагретого до определенной высокой температуры изделия характеризует процесс закалки. Быстрое охлаждение вызывает в сталях такое изменение структуры, которое придает им совершенно другие свойства. Твердость, сопротивление разрыву и упругость металла увеличиваются, в особенности, если металл содержит значительное количество углерода.

Отжиг заключается в нагревании стали в продолжение определенного времени, иногда в течение нескольких часов, при температуре на 30—60° выше максимальной критической температуры, а именно при 750—900° и затем в медленном охлаждении в печи.

Эта термическая обработка смягчает сталь для дальнейшей механической обработки и уничтожает внутренние натяжения. Отжиг особенно необходим для изделий, получивших наклеп под молотом, или при протяжке, а также для изделий, которые случайно подверглись закалке. К отжигу приходится прибегать при производстве всякого рода кованных стальных изделий.

Температура нагрева при отжиге для некоторых сталей разного состава приводится в следующей таблице.

№ по порядку	Сорта стали	Содержание примесей			Температура нагрева
		C	Ni	Cr	
		Проценты			
1	Обыкновенная	0,15—0,25	—	—	900°
2	Хромо-никелевая	0,15—0,25	1,5	1,5	870°
3	" "	0,15—0,25	3,5	1,5	860°
4	Никелевая	0,22	3,5	—	760—790°
5	"	0,4	3,5	—	730—790°

Отжиг изделий из специальных сталей представляет собой очень деликатную, а порой довольно сложную операцию. Так, например, сталь, содержащую 0,3% углерода, 3% никеля и 1% хрома, придется нагревать в течение двух-трех часов при температуре около 870°, охлаждать на воздухе до 400°, вновь нагревать до температуры немного выше критической температуры и затем охлаждать в печи.

Отжиг стали с содержанием 0,5% углерода, 0,6% марганца, 3% никеля и 1% хрома производится следующим образом: нагревают так, чтобы в течение двух часов температура изделия достигла 720°; эту температуру поддерживают в течение полутора часов, затем изделие

Опыты над изменением формы и размеров изделий нагреваемым и охлаждением.

№ по порядку	Условия опыта и характеристика образца	Охлаждаемая поверхность	Изменение диаметров						Примечание
			Наружных			Внутренних			
			ab	cd	Раз- ность	ab	cd	Раз- ность	
1	Железное кольцо подвергали полному нагреванию и местному охлаждению Первоначальный наружный диаметр 89,92 мм Первоначальный внутренний диаметр 49,90 мм Толщина 10 мм	cbd cad adb acb	0,12 0,18 0,05 -0,10	-0,10 -0,21 -0,11 -0,10	0,22 0,39 0,16 0,00	0,10 0,20 0,10 0,00	-0,08 -0,10 -0,05 +0,05	0,18 0,30 0,15 0,05	Кольцо в окончательном виде сохранило свою форму с точностью до нескольких сотых долей миллиметра. Уменьшение наружного диаметра и увеличение внутреннего диаметра можно приписать образованию чешуек окалина, которые отслаивались при каждой из четырех операций.
2	Железное кольцо подвергалось местному нагреванию до красного каления на протяжении примерно 1/3 окружности и охлаждалось водой Первоначальный наружный диаметр 88,4 мм Первоначальный внутренний диаметр 62,8 мм Толщина 12,8 мм	cbd cad adb acb	0,34 0,52 0,43 -0,40	-0,13 -0,48 -0,26 +0,10	0,47 1,00 0,69 0,70	0,35 0,70 0,10 0,20	-0,21 -0,45 -0,70 -0,90	0,56 1,15 0,80 0,70	Деформация оказалась асимметричной; при накаливании на оправку кольцо входило слева на 3-4 мм. Повторные нагревы не вызвали заметной деформации, за исключением тех мест, где она локализовалась.
3	Железное кольцо нагревалось на протяжении 1/3 окружности и охлаждалось в воздухе Средний диаметр 49,07 мм Диаметр кольцевого сечения 20 мм	cbd cab adb acb	1,10 1,60 0,80 0,40	-0,80 -1,00 -0,40 -0,20	1,90 2,60 1,20 0,60	— — — —	— — — —	— — — —	Так как нагревание было более или менее равномерным, то получились незначительные деформации: придало кольцо овальную форму, которая сохранилась в том же месте, несмотря на повторное нагревание.
4	Обод из литой стали для локомотивной оси Большая внутренняя ось 550 мм Малая внутренняя ось 340 мм Сечение 40 × 100 мм	cbd	0,00	0,15	—	—	—	—	При нагревании в печи одной половиной до большего диаметра и при охлаждении в воздухе не замечалось сколько-нибудь заметной деформации.
5	Стальной бандаж вагонного колеса нагревался в печи и охлаждался в воде на половине своей окружности Первоначальный внутренний диаметр 1,100 м Средняя толщина 0,40 м	cbd cad adb acb	— — — —	— — — —	— — — —	4,00 5,00 -14,50 -22,00	-0,00 -10,00 +1,50 +6,0	12,00 15,00 16,00 28,00	При таком крупном размере оказалось очень трудно получить симметричные деформации и сохранять их в желательных пределах.

Твердо закаленные цементованные изделия невозможно обрабатывать резцами; если они требуют дальнейшей обработки процессами, связанными с удалением части их материала, то их необходимо отпускать при высокой температуре или отжигать. Без такого отжига подобные изделия можно резать только шлифовальным кругом. Шлифованием пользуются только для отделки начисто в тех случаях, когда приходится устранять деформации, получившиеся от нагревания и охлаждения. Если требуется только местный отжиг металла, как, например, в том месте изделия, в котором надо просверлить отверстие в закаленной броневой плите, можно пользоваться электрическим током достаточной силы, чтобы уничтожить влияние закалки.

В этом случае пользуются аппаратами со сферическими электродами, поверхность которых равняется от 0,02 до 0,03 м².

Через электроды пропускают ток силой около 10 000 ампер и перемещают их по отжигаемой поверхности до тех пор, пока последняя не достигнет вишнево-красного каления.

Силу тока регулируют таким образом, чтобы охлаждение происходило медленно, так как в противном случае холодная масса металла, быстро поглощая местное тепло, вызовет новую закалку.

Броневые плиты приходится также отжигать при обрезке. В этом случае электроды двигают со скоростью в 5—6 мм в минуту по отжигаемой части плиты.

Поверхность твердой стали можно закалить автогенным процессом при помощи автогенного аппарата, установленного на тележке, который вследствие этого можно перевозить туда, куда он потребуется. Автогенное пламя быстро доводит поверхностный слой металла до высокой температуры. Закалка производится поливкой нагретых частей холодной водой. Этим процессом пользуются при закалке рельс, чтобы уменьшить их изнашивание. Кроме того, автогенное пламя быстро цементирует или обуглероживает поверхностный слой металла и придает ему твердость, равную твердости, получающейся при закалке.

Такой же результат получается при поверхностном нагреве стального изделия с большим или меньшим содержанием углерода вольтовой дугой.

Процесс двойной закалки очень часто применяется при закалке зубил, сверл, метчиков, фрез и т. п. Он заключается в том, что изделие закалывают для достижения соответствующей твердости, после чего металл отпускают при умеренной температуре и вновь окончательно закалывают. При такой обработке упругость металла и сопротивление его ударам значительно возрастают сравнительно с теми же свойствами кованой стали, закаленной в одну операцию. Этим процессом пользуются для закалки клуппов, штифтов, подков, шпонок, чек и цепей, осей, валов, бандажей, снарядов, артиллерийских орудий, броневых плит и т. п. Процесс этот улучшает качества как мягких, так и твердых сталей. В частности, двойная закалка улучшает качества мягких цементованных сталей, продолжительный нагрев которых, длящийся в течение нескольких часов, вызывает крупную кристаллическую структуру, понижающую сопротивление и придающую металлу хрупкость. Для изменения такой структуры в мелкозернистую металл нагревают до температуры в 900—950° и закалывают в воде или в масле. После этого нагревают вновь до температуры от 750 до 800° и закалывают вторично. Наконец, металл отпускают в масле при температуре в 250°. Первой обработкой достигается однородность металла, второй обработкой достигаются соответствующие характеристики сопротивления. При этих процессах необходимо соблюдать целый ряд предосторож-

ностей, так как в противном случае может получиться брак, который очень трудно обнаружить.

Мы не касаемся здесь вопросов закалки слесарных изделий, ни закалки режущих инструментов. Мы точно также обходим молчанием методы измерения температур металла и ванны. Напомним только, что изделие нагревают до соответствующей температуры и затем погружают в водяную, масляную или свинцовую ванну. При закалке больших изделий для сохранения постоянства температуры ванны ей дают достаточный объем, в 10—30 раз больше объема изделия или же пускают жидкость в ванны во время закалки.

Специальных процессов закалки мы коснемся в изложении отдельных производственных процессов.

Что касается повторных закалок в масле с последующими отпусками, то установлено, что они повышают предел упругости. Так, например, предел упругости бруска из мягкой стали после термической обработки повысился с 20 до 31 кг/мм², а предел упругости бруска из стали средней твердости повысился с 26 до 44 кг/мм². Отсюда следует, что термически обработанный металл обладает большим сопротивлением воздействию на него живой силой, т.-е. ударами, или что то же обладает меньшей хрупкостью и более высоким сопротивлением удару.

Однако, повторная закалка применима только к изделиям простой формы и равномерного сечения, так как в противном случае происходят изломы в углах изделия и в частях его, обладающих незначительной толщиной.

Повторные закалки и отжиги требуют большого внимания; при недостаточной опытности они приносят больше вреда, чем пользы.

При термической обработке стали необходим тщательный контроль температуры, а так как на эту сторону на практике часто не обращают должного внимания, то нередко и неудовлетворительные результаты.

При термической обработке следует пользоваться достаточно точными пирометрами ¹⁾. Особенно строго как при закалке, так и при отжиге, надо относиться к высоте нагрева, а также его продолжительности, к колебаниям температуры, к продолжительности погружения, объему ванны, ее составу и температуре.

Лучше совершенно не обрабатывать стали, нежели обрабатывать ее эмпирическими способами, которые ведут только к ее ухудшению.

Термическая обработка требует методичности. Она должна вестись после предварительных испытаний техническими, чтобы не сказать научными, методами.

Главный органический недостаток закалки заключается в том, что она вызывает сильные внутренние напряжения, производящие внешние деформации, трещины, разрывы как при охлаждении изделия, так и при слабых ударах.

¹⁾ Многие авторитеты не рекомендуют пользоваться оптическими пирометрами вроде пирометра Фери (Féry) или термо-электрическими пирометрами Ле-Шателье, так как эти инструменты требуют очень тщательного обращения и дают только температуру печи, а не изделия. Более точные результаты можно получить только с пирометром для непосредственного оптического наблюдения за температурой изделия. Этим инструментом следует пользоваться во всех современных производствах. Создание надежного и вместе с тем простого пирометра до сих пор является злободневным вопросом. Что касается определения температуры на-глаз, по цветам каления металла, то способ этот хуже всех остальных, так как ошибка наблюдателя может достигать до 100° и тем сильно изменять результаты операции. Напомним здесь, однако, шкалу цветов при нагревании металла. Темно-красное каление соответствует температуре 700°, темно-вишневое — температуре 800°, вишневое — 900° светло-вишневое — 1000°, темно-оранжевое — 1100°, светло-оранжевое — 1200°, белое — 1300°, белое сварочное — 1400°, ярко-белое — 1500°.

При охлаждении наружный металл сокращается вокруг еще горячего ядра. Так как последнее несжимаемо, то происходит или удлинение наружной части металла, или разрыв ее, если текучесть последнего недостаточна.

В некоторых случаях закаленный металл обладает такой большой хрупкостью, что бывает достаточно легкого удара или изменения температуры, чтобы вызвать разрыв, сопровождающийся более или менее сильным звуком.

От этой причины при переносках иногда происходят разрывы закаленных ободов, пушечных стволов и других изделий, хотя они и выделяются из очень тягучей стали, обладающей высоким коэффициентом удлинения.

Чтобы восстановить равновесие внутренних сил, сталь надо подвергнуть соответствующему отпуску.

Однако, если закалка вызвала образование внутренних трещин, то, как бы малы они ни были, их нельзя удалить какой-либо термической обработкой.

Возникающие при закалке напряжения тем сильнее, чем более резко меняются контуры изделий.

Благодаря изменению удельного веса стали при закалке, последняя вызывает увеличение длины изделия. Так, например, наблюдалось увеличение изменение длины изделия в 9 метров на 12 мм, что составляет $\frac{12}{9000} = 0,0013$ метра на погонный метр.

Отжиг, повидимому, не возвращает изделию его первоначальной длины. Таким образом, комбинированные растягивающие и сжимающие напряжения вызывают при закалке постоянные элементарные, довольно значительные удлинения. Этих усилий не в состоянии выдерживать твердая или мало текучая сталь и дает при этом поперечные или продольные мельчайшие трещины.

Закалка труб, как, например, стволов артиллерийских орудий, иногда производится путем охлаждения их изнутри циркулирующей охлаждающей жидкостью. Закалку таких изделий можно также производить, нагревая их снаружи и одновременно охлаждая изнутри струей воды или масла, как-то принято в процессе Родмана.

Основываясь на этом процессе, известный ученый профессор Гиллье (L. Guillet) разработал в течение мировой войны 1914—1918 гг. весьма удачный способ закалки артиллерийских снарядов.

Пользуясь в качестве охладителей ваннами специального состава (например, свинцовыми ваннами и ваннами из расплавленных солей NaCl и CaCl), можно производить закалку изделий, достигая при этом большого сопротивления и высокого предела упругости металла. Эти ванны, которыми пользуются для закалки без последующего отпуска, особенно пригодны для обработки режущих инструментов; они особенно пригодны также для улучшения механических свойств средней и мягкой стали посредством одной или нескольких закалок при низкой температуре.

Исследование явлений закалки, отпуска и отжига микрофотографией.

Явления закалки, отжига и отпуска с самых древних времен занимали умы всех, кому приходилось иметь дело с обработкой и использованием стали.

Только немного лет тому назад удалось дать удовлетворительное объяснение этих явлений, основанное на целом ряде тщательных физи-

ческих и химических исследований, произведенных крупными учеными, среди которых можно назвать французов: Осмонда, Карто, Ле-Шателье, Брейля, Гиллье, Шарпи, Портевена, Грене и других.

Строение стали в различных состояниях, зависящих от ее термической обработки, является объектом многочисленных исследований. Чтобы проследить за влиянием термической обработки на металлическую массу, пользуются методами микрографического или металлографического анализа, позволяющего замечать и исследовать самые незначительные изменения структуры металлов.

Для этих исследований изготовляют специальные образцы, которые затем подвергают следующей обработке:

1. Тщательно полируют наждачным порошком, а затем для твердых металлов — окисью алюминия, и для мягких — тальком. Такой способ шлифовки и полировки является наиболее распространенным.

2. Полированные до идеальной зеркальной поверхности образцы протравливают водистой тинктурой или 5-процентным раствором пикриновой кислоты в девяностоградусном спирте, или же раствором той же пикриновой кислоты или азотной кислоты в воде. Образцы протравляют, погружая их в реактив до появления легкой вуали. После этого их вынимают, последовательно промывают в двух спиртовых ваннах и протирают мягкой льняной тряпкой. После такой обработки на поверхности образцов появляется рисунок, зависящий от структуры металла. Характер этого рисунка обусловлен различной растворимостью или вообще различным химическим взаимодействием между отдельными структурными составляющими стали и травящим сталь реактивом.

Затем протравленный образец (шлиф) рассматривается под микроскопом при необходимом увеличении (от 50 до 2 000 и более раз) и, если необходимо, фотографируется.

Микроскопическое исследование обычно сопровождается испытанием на твердость. Твердость чаще всего измеряется помощью пресса Бринелля (проба шариком под постоянной нагрузкой, при чем диаметр отпечатка указывает на твердость), аналогичным прибором Роквелля (проба алмазным конусом, при чем глубина отпечатка характеризует твердость) или склероскопом Шора (твердость измеряется высотой отскакивания алмазного бойка, падающего с постоянной высоты на образец), реже — склерометром Мартенса, (твердость меряется шириной черты, оставляемой на образце алмазной призмой).

В виду того, что различные структурные составляющие железоуглеродистых сплавов имеют весьма различную твердость, измерение последней имеет весьма существенное значение при выяснении микроструктуры стали.

Для того, чтобы получить представление о структурных составляющих железоуглеродистых сплавов, необходимо предварительно ознакомиться с диаграммой равновесия этих сплавов.

Аллотропия железа.

Чистое железо обладает несколькими аллотропическими модификациями (видоизменениями), соответствующими определенным интервалам температур. Переход из одной модификации в другую сопровождается тепловым эффектом — поглощением тепла при нагреве и выделением тепла при охлаждении. Если через равные промежутки времени записывать температуру нагреваемого железа, то в моменты поглощения тепла нагревание замедлится или остановится, ибо все

тепло будет идти не на повышение температуры, а на внутреннее превращение. При охлаждении произойдет обратное: в момент выделения тепла падение температуры прекратится. Температуры таких превращений называются критическими точками, при чем при нагреве они обозначаются буквой „А“ со значком „с“ — т.е. A_c , а при охлаждении — „А“ со значком „р“, т.е. A_p .

При нагревании железа мы встречаем критическую точку A_{c_2} при 768° и A_{c_3} при 910° . При охлаждении соответствующие точки A_{r_2} и A_{r_3} лежат: первая при той же, что и A_{c_2} , температуре — 768° , а вторая — на $8-10^\circ$ ниже A_{c_3} .

При температурах ниже A_{c_2} железо носит название „ α -железа“. Оно сильно магнитно и не растворяет углерода. Между A_{c_2} и A_{c_3} существует β -железо; оно немагнитно и также не растворяет углерода. Выше A_{c_3} железо находится в состоянии γ и, приобретая другое кристаллическое строение, становится способным растворять углерод, образуя с ним твердый раствор.

Диаграмма равновесия железо-углеродистых сплавов.

Чистое железо не имеет практического значения. Техника имеет дело лишь со сплавами железа с различными элементами, из которых наибольшее значение имеет углерод. Содержание углерода в железо-углеродистых сплавах колеблется от 0,05 до 5-6%. Углерод, входя в сплав с железом, коренным образом изменяет свойства его. Критические точки железа смещаются, появляются новые точки, соответствующие образованию твердого раствора и т. п.

На рис. 1152 приведена т. наз. „диаграмма равновесия“ железо-углеродистых сплавов, показывающая, какие структурные составляющие устойчивы при определенных температурах и при каких температурах одни из них переходят в другие.

Необходимо помнить, что приведенная на рисунке диаграмма соответствует весьма медленному нагреву и охлаждению. При быстром нагреве и, в особенности, охлаждении изменяется и самая диаграмма и образуются иные структуры.

Сталь, содержащая углерода от 0 до 0,9%, называется подэвтектоидной, сталь, содержащая ровно 0,9% углерода — эвтектоидной и сталь с содержанием углерода сверх 0,9% — заэвтектоидной. Из диаграммы видно, что при температурах выше линии gSa все сплавы с C — от 0 до 1,7% относятся к одной области $Aasg$. Это означает, что все эти стали имеют одинаковое строение. Такое строение называется

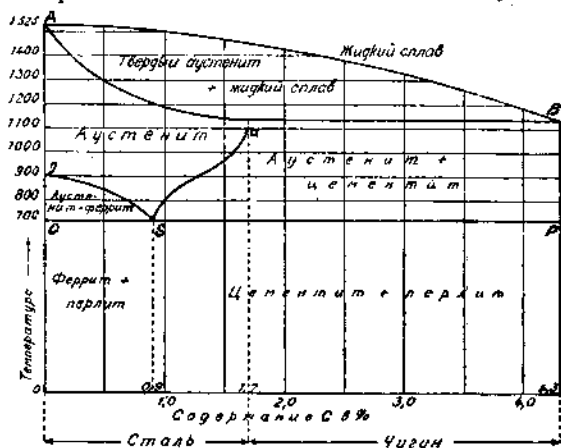


Рис. 1152.

аустенитом, представляющим собой однородный твердый раствор цементита, т.е. карбида железа в γ -железе. При охлаждении подэвтектоидной стали до линии gS , сталь состоит из аустенита, а при переходе через эту линию в точке A_3 и дальнейшем охлаждении до линии OS из аустенита выделяется так называемый „феррит“, т.е. α -железо. При этом количество железа в аустените уменьшается и состав аустенита приближается к 0,9% углерода. На линии OS γ -железо, растворяющее углерод, переходит в α -железо, нерастворяющее углерода. В силу этого аустенит распадается на феррит и цементит, которые образуют пластинчатую механическую смесь — „перлит“. Сплав с 0,9% C не имеет критической точки A_3 на линии gS , а при t -ре около 700° (точка A_1) весь аустенит сразу распадается на феррит и цементит, превращаясь в перлит. Заэвтектоидные сплавы, переходя через линию aS , начинают выделять избыточный цементит, а в точке A_1 на линии OSP , аустенит, состав которого в этот момент отвечает 0,9% C , распадается, переходя в перлит.

При дальнейшем охлаждении никаких превращений нет и при комнатной температуре структура стали такова же, как и ниже линии OSP , которая проходит горизонтально через всю диаграмму, показывая собой предельную температуру, ниже которой никакой железо-углеродистый сплав не может содержать аустенита.

При нагревании происходят обратные превращения. В точке A_1 (линия OSP) перлит всякой стали переходит в аустенит, т.е. железо и цементит перлита образуют твердый раствор. При дальнейшем повышении температуры в аустените постепенно растворяется либо феррит (подэвтектоидные стали), либо цементит (заэвтектоидные стали). Эвтектоидная сталь, содержащая перлит (эвтектоид), сразу целиком переходит в состояние аустенита. Выше линий gSa все стали состоят из аустенита.

Так как описанные превращения происходят при медленном нагреве и охлаждении, то отожженная, т.е. медленно охлажденная, сталь имеет следующую структуру:

Эвтектоидная сталь ($C = 0,9\%$) — чистый перлит.

Подэвтектоидная сталь ($C = 0—0,9\%$) — перлит, окруженный ферритом, при чем количество феррита тем больше, чем меньше углерода в стали.

Заэвтектоидная сталь ($C = 0,9—1,7\%$) — перлит, окруженный цементитом, при чем количество цементита тем больше, чем выше содержание углерода.

Сплавы, содержащие сверх 1,7% углерода, называются чугунами. Характерной особенностью чугунов является наличие весьма большого количества цементита, нерастворимого в аустените ни при какой температуре. При медленном охлаждении цементит чугунов разлагается на феррит и графит (т.е. элементарный углерод). Подобно стали, всякий чугун при медленном охлаждении через линию OSP (A_1) претерпевает последнее превращение, состоящее в превращении аустенита в перлит.

Структурные составляющие стали.

1. *Феррит*. Феррит, чистое α -железо, при травлении слабыми кислотами представляется белой, однородной составляющей. В весьма малоуглеродистом железе феррит составляет основной зернистый фон, на котором кое-где заметна углеродистая составляющая. При содер-

жаний углерода, от 0,3 до 0,9% феррит охватывает более или менее массивной сеткой зерна перлита. Феррит — самая мягкая из составляющих стали.

2. *Цементит*. Карбид железа формулы Fe_3C (6,66% C). При обычном травлении цементит представляет собой блестящую белую составляющую, форма которой зависит от обработки стали. Хорошо прокованная заэвтектоидная (см. ниже) сталь содержит цементит в виде белых зернышек. В литой стали цементит в виде игольчатой сетки обрамляет зерна перлита. Цементит является самой твердой составляющей железоуглеродистых сплавов.

3. *Аустенит*. Твердый раствор цементита, в γ -железе, устойчивый лишь выше линии gSa (см. выше диаграмму). При особенно резкой закалке стали с 1,3—1,7% углерода и 1,5—2% марганца можно получить аустенит. Аустенит не травится обычными реактивами, и представляется в виде однородных белых зерен, аналогичных ферриту. Аустенит не слишком тверд сравнительно с отожженной эвтектоидной сталью.

4. *Мартенсит*. Игольчатая структура, получающаяся при охлаждении с большой скоростью углеродистых сталей, с углеродом свыше 0,4%. Иголки обычно перекрещены под углами в 60° . Мартенсит представляет собой ту стадию распада аустенита, когда γ -железо перешло в α -железо, но углерод, благодаря быстрому охлаждению, остался в растворе с α -железом (хотя при медленном охлаждении, углерод выделился бы в виде цементита, ибо α -железо, вообще говоря, не растворяет углерода). Мартенсит исключительно тверд и хрупок.

5. *Троостит*. Тончайшая смесь α -железа и цементита, которые выделились при распаде мартенсита. При нормальном травлении троостит имеет вид однородной темной массы, которая лишь при увеличении в 1000 — 2000 раз оказывается состоящей из точек феррита и цементита. Троостит получается либо при отпуске мартенсита, либо при закалке стали не в воде, а в масле или в горячей воде. Твердость его приближается к твердости мартенсита, особенно в заэвтектоидной стали.

6. *Сорбит* или „точечный перлит“. Сорбит представляет собой дальнейшую стадию распада мартенсита. Сорбит аналогичен трооститу, но в нем феррит и цементит успели обособиться в более крупные точки, видимые при увеличении в 300—1000 раз. При нормальном травлении сорбит представляется серой точечной структурой. Твердость сорбита вдвое меньше, чем у мартенсита.

7. *Перлит* представляет собой продукт полного распада твердого раствора аустенита на феррит и цементит. Название свое эта структурная составляющая получила благодаря перламутровому блеску, обусловленному правильным чередованием пластинок феррита и цементита. Более мягкие и легко травящиеся пластинки феррита, оказываются, ниже твердых пластин цементита, и последние, бросая на них тень, делают под микроскопом структуру полосчатой.

Перлит является типичной структурой отжига или весьма длительного отпуска при температуре немного ниже A_1 . Твердость его лишь вдвое выше, чем у феррита.

Структура железо-углеродистых сплавов редко обнаруживает только одну из указанных составляющих. Чаще всего мы имеем смесь из них, а также встречаемся с переходными структурами, как, например троосто-сорбит, сорбитообразный перлит и т. п.

Влияние закалки.

Целью закалки углеродистых сталей является получение мартенсита, т. е. структуры высокой твердости. Путем отпуска мартенсита можно получить сталь достаточной твердости при большой вязкости, т. е. сталь поделочную, а при очень слабом отпуске углеродистая закаленная сталь может служить инструментальной сталью.

Однако, необходимо отметить, что твердость мартенсита зависит от количества растворенного в нем углерода. Так, сталь с содержанием углерода до 0,5—0,6% даст более низкую твердость, чем сталь с углеродом от 0,7 до 1,5%. Стали с содержанием углерода до 0,4—0,5% служат для машинных деталей, а стали с углеродом от 0,7 до 1,5% — для инструментов.

При закалке необходимо нагреть сталь выше верхней критической точки с тем, чтобы после закалки получить однородную структуру мартенсита. Если же нагрев вести лишь не намного выше нижней критической точки, то в подэвтектоидных сталях наряду с мартенситом будут крупные скопления нерастворенного феррита, а в заэвтектоидных — цементита. Для инструментальной стали, правда, последнее не страшно, ибо цементит сам весьма тверд. Поделочная же сталь, содержащая скопления феррита, обладает плохими механическими свойствами.

Чем дальше сталь пребывает в области выше верхней критической точки, тем крупнее становятся зерна стали и тем хуже ее качество после закалки и отпуска. Поэтому, выдержка при температуре закалки не должна превосходить времени, необходимого для образования однородного твердого раствора. Обычно, после достижения нужной температуры, сталь выдерживается 10—20 минут.

Повышение температуры выше верхней критической точки ведет так же, как и выдержка, к росту зерен. В силу этого закалка должна производиться при температуре, превышающей верхнюю критическую точку на 25—40°.

При нагревах до весьма высокой температуры кислород воздуха начинает быстро окислять углерод, и сталь обезуглероживается на большую или меньшую глубину.

Для успешного проведения закалки необходима определенная скорость охлаждения. Благодаря этому толстые изделия не удастся закалить на всю глубину. С поверхности образуется мартенсит, а по мере продвижения к центру — троостит и даже сорбит. Таким образом, углеродистые стали имеют предел толщины изделий, при котором последние могут быть закалены во всей своей толще. Этот предел не превосходит для стали с 1% углерода 8—10 мм.

Отпуск и отжиг.

Отпуск закаленной стали имеет различные задачи, в зависимости от рода и назначения стали. Отпуск поделочной стали производится с целью получить при сравнительно высокой вязкости достаточную твердость. Поэтому поделочные стали необходимо отпускать при 400—600°, т. е. при таких температурах, когда не только мартенсит, но и троостит почти полностью распадается в сорбит. Инструментальные стали требуют невысокого отпуска лишь для уничтожения внутренних натяжений, образовавшихся при закалке. Для отпуска

инструментов достаточны температуры до 250—300°, когда мартенсит распадается в троосто-мартенсит.

Чрезвычайно длительный отпуск при 650—680° или нормальный отжиг совершенно уничтожают действие закалки и приводят к перлитовой структуре.

Специальные стали.

Специальные стали получили большое развитие благодаря целому ряду преимуществ сравнительно с углеродистой, как, например:

1) Специальные примеси как: хром, вольфрам, молибден, ванадий и др. измельчают зерно стали. Стали с этими примесями можно, не боясь роста зерен, нагревать до таких высоких температур, при которых углеродистая сталь стала бы исключительно крупнозернистой.

2) Специальные примеси как: никель, ванадий и др. повышают тягучесть стали при данной твердости, сравнительно с углеродистой сталью при такой же твердости.

3) Специальные примеси как: марганец, никель, хром, вольфрам, молибден делают сталь самозакаливающейся, т.е. дающей мартенсит при охлаждении на воздухе, а не в воде. В силу этого при закалке изделий из таких сталей закалка проникает гораздо глубже в толщу изделия, чем в углеродистой стали. Закалка в воде к специальным сталям почти не применяется. Для самых мягких специальных сталей достаточную скорость охлаждения дает масло.

4) Специальные примеси: хром, вольфрам, марганец, молибден повышают стойкость стали против отпуска. Так, хромо-вольфрамовая сталь, содержащая 0,5% C, 5% Cr, и 15% W после соответствующей обработки может оставаться в мартенситовом состоянии до 650°. Благодаря этому сталь эта названа „быстрорежущей“, т.е. сохраняющей режущие свойства на очень быстром ходу, при сильном разогревании реза.

5) В силу свойства самозакаливемости, при соответствующем составе и обработке, специальные стали могут иметь аустенитную структуру при комнатной температуре. Аустенит немагнитен, малоистираем и обладает рядом особых физических свойств, делающих применение аустенитных сталей необходимым.

Микроструктура специальных сталей содержит те же структурные составляющие, что и углеродистые стали, но, вообще говоря, структура специальных сталей мельче, чем у углеродистых.

Ниже приводятся несколько микрофотографий, характеризующих углеродистые и специальные стали в различных состояниях.

Рис. 1153. Микроструктура весьма чистого железа правильно отожженного. Ферритовые зерна и между ними — небольшие темные вкрапления перлита. (× 100).

Рис. 1154. Чистый аустенит, полученный при закалке специальной стали с 1% углерода и 10% хрома. Крупные зерна образовались благодаря нагреву до 1200° и выдержке 1/2 часа при этой температуре. (× 500).

Рис. 1155. Структура, получившаяся при отпуске (нагрев до 550°) аустенита предыдущей фотографии. Основной фон зерен — аустенит, не разложившийся при отпуске, темные иглы — троосто-мартенсит. (× 500).

Рис. 1156. Отожженная подэвтектоидная сталь, содержащая 0,25% углерода. Белые зерна — феррит, темные — перлит. (× 250).

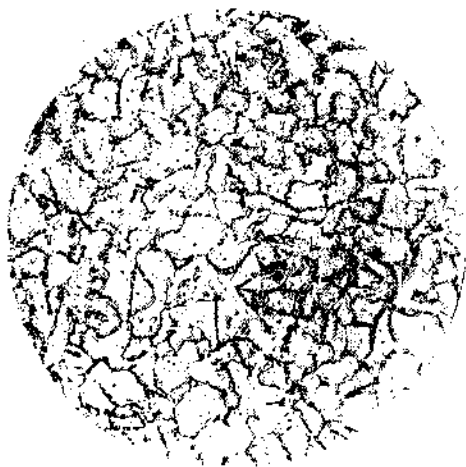


Рис. 1153.



Рис. 1154.



Рис. 1155.

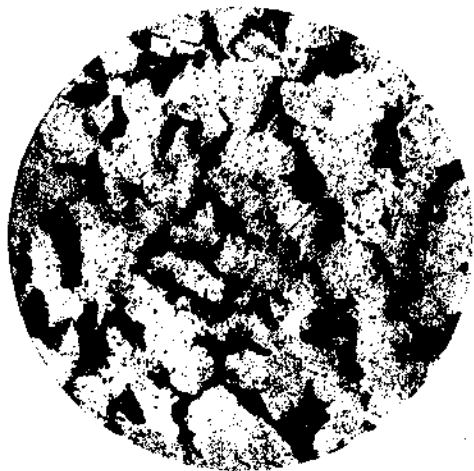


Рис. 1156.



Рис. 1157.

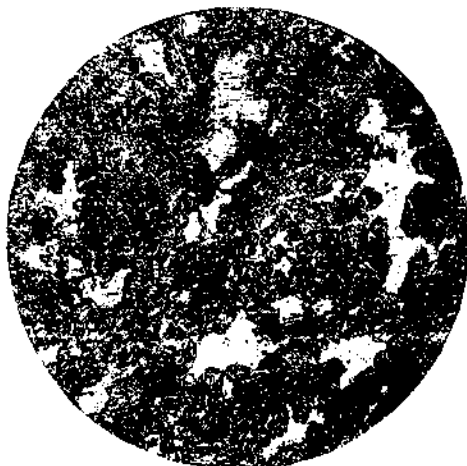


Рис. 1158.

Рис. 1157. Отожженная заэвтектоидная сталь. Благодаря очень медленному охлаждению избыточный сверх 0,9% С цементит выпал в виде массивных скоплений по краям зерен перлита. ($\times 1000$).

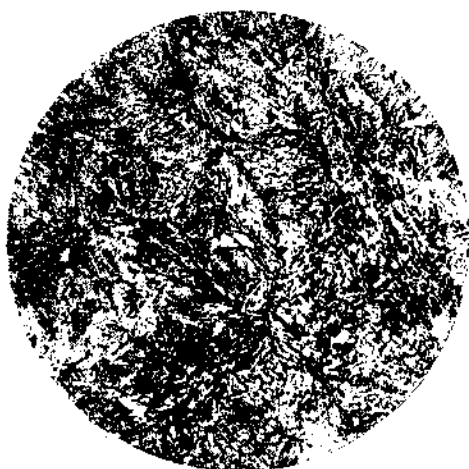


Рис. 1159.

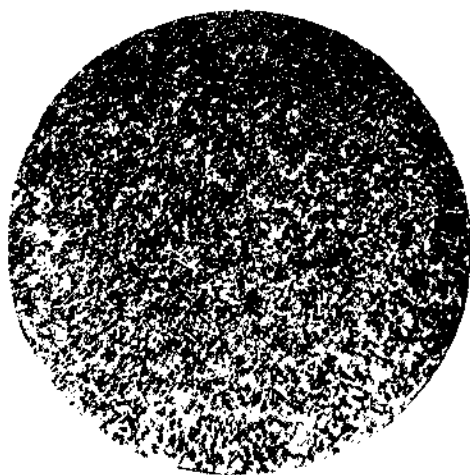


Рис. 1160.

Рис. 1158. Подэвтектоидная сталь (0,6% углерода), закаленная при 740°. Часть феррита осталась нерастворенной; остальной фон представляет собой мелкий мартенсит. ($\times 250$).

Рис. 1159. Подэвтектоидная сталь (0,4% углерода) после закалки при t -ре выше A_{c3} . Мартенсит. ($\times 750$).

Рис. 1160. Подэвтектоидная сталь (0,4% углерода) после закалки при температуре выше A_{c3} и отпуска на сорбит (400°). Такая структура должна отвечать наилучшим по совокупности вязкости и крепости. ($\times 100$).

Рис. 1161. Заэвтектоидная сталь после закалки от 1150°. Благодаря сильнейшему перегреву, иглы мартенсита и зерна получились исключительно крупными. ($\times 250$).



Рис. 1161.

Закалка сжатием.

Сжатие металлов в горячем состоянии с охлаждением их под давлением вызывает местную закалку. Такой процесс был предложен для улучшения качества стальных отливок, применяемых для деталей машин.

Нагретая до вишнево-красного каления сталь подвергается энергичному сжатию при давлениях от 10 до 30 кг/мм² между двумя металлическими частями, соприкосновение с которыми вызывает

падение температуры. Такое охлаждение вызывает затвердевание металла без сколько-нибудь значительной потери его относительного удлинения и вместе с тем придает ему большую вязкость¹⁾ и упругость. Последние можно увеличить одним или несколькими следующими друг за другом нагревами и сжатиями.

Этот процесс может найти применение при ковке в матрицах таких изделий, как, например, вагонные колеса, оси, конские подковы и т. п.

Холодную проковку изделий под молотом и холодную прокатку можно рассматривать как вид закалки давлением. При этих операциях получается, так называемый, наклеп металла, сжимающий кристаллоиды и увеличивающий его поверхностную твердость. Иногда эти операции продолжают более чем это надо, чтобы получить наклеп, как, например, при изготовлении мелких стальных частей, которые требуется предохранить от быстрого изнашивания. Процесс наклепа применяют также при изготовлении шеек вагонных осей, его также рекомендуют для изготовления медных трубчатых досок, локомотивных топков с целью увеличения их жесткости и повышения сопротивления. Практика показала, что ковка ударами дает лучшие результаты, нежели медленное прессование.

Глубина наклепа медных плит, т. е. уменьшение их толщины, при холодной ковке при толщине изделия от 25 до 30 мм достигает 1 мм.

¹⁾ Патент Клемандо 23 января 1882 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ.

ТОМ I.

Теоретические и экспериментальные основы процессов горячей обработки металлов.

	Стр.
Предисловие редактора	3
Предисловие ко 2-му французскому изданию	5
Введение	7
Процессы горячей обработки металлов	7
Операция обработки металлов без удаления материала	9

ГЛАВА I.

I. Основные процессы действия машин-орудий и их классификация	11
II. Процессы действия непосредственным непрерывным давлением на всю поверхность металла (прессование)	12
Усилия сжатия	13
Энергия сжатия	14
III. Центробежное сжатие	16
Влияние усадки металла	19
IV. Процессы сжатия металла местными поперечными давлениями	22
Продольные давления	23
Влияние толщины изделия и величины поверхности давления	23
V. Опыты прессования металла	24
Влияние скорости	26
Влияние высоких температур	30
Опыты прессования стальных цилиндров при различных температурах и постоянном давлении	31
Энергия прессования различных металлов	34
Особенное значение текучести	35
VI. Ковочные прессы	38
Прессы Витворта	39
Пресс Дэви в 4 000 тонн	43
Пресс Делаттр и К°.	44
Прессы завода О-ва Горы и Бюир	47

ГЛАВА II.

I. Процессы действия живой силой (ковка под молотом)	54
Закон подобия при ковке ударами	56

	Стр.
Влияние массы и скорости бабы	57
Влияние массы опоры	58
Опыты над влиянием веса наковальни	59
Элементы механической энергии молота	62
Коэффициент полезного действия молота	64
II. Опыты над ударами	64
Опыт над загонкой стержня в ксьцо	65
Сравнительные опыты над прессованием и ударами, опыты Казалонга и Шоммена	68
Опыты над повторными ударами. Влияние веса бабы	72
Отношение затрат энергии на сжатие свинца и на сжатие стали при вишнево-красном калении	77
Опыты над повторными ударами. Влияние скорости бабы	78
Опыты над повторными ударами. Влияние веса наковальни	84
Опыты над прессованием и повторными ударами по латуни	87
Опыты над прессованием и повторными ударами по железу	92
Сравнительные опыты над прессованием и повторными ударами по меди	98
Сравнительные опыты над прессованием и повторными ударами по свинцу	101
Сравнительные опыты над прессованием, ударами с возрастающей энергией и повторными ударами с постоянной энергией по свинцу	104
Сравнительные опыты над прессованием, ударами с возрастающей энергией и повторными ударами с постоянной энергией по железу в холодную	115
Опытыковки железа при вишнево-красном калении	120
Общие выводы из опытов над прессованием и ударами	122
Сравнительная мощность молота и прессы	122
III. Ковочные молоты	129
Механические молоты	129
Пневматические молоты с атмосферным давлением	135
Паровые молоты	136
Гидравлические молоты	144
Гидравлический комбинированный молот-пресс Аллена	155

ГЛАВА III.

I. Главные применения различных процессов прессования иковки ударами	147
Обжимка криц	147
Ковка криц	150
II. Вытяжка	150
Затрата энергии при вытяжке поперечными давлениями	154
Орудия для вытяжки и влияние последней на металл	156
Выглаживание	157
Вытяжка тонких изделий	158
Выравнивание	158
III. Высадка	161
Опыты над истечением металла	163
IV. Ковка на оправках	165
V. Ручное штампование	167
VI. Ковка в матрицах	172
Прессы и молоты дляковки в матрицах и для штампования пуансонами	175

	Стр.
VII. Клепка	182
Давление клепки	188
Клепальные машины	195
Клепальный молот Аллена и Рэдера	195
Механическая чеканка	197
Клепальные машины с механическим приводом	197
Клепальная машина Ле-Брюна с фрикционным приводом	199
Паровые клепальные машины	200
Клепальные машины Кука	201
Клепальная машина Гуэна	201
Гидравлические клепальные машины	202
Гидравлические клепальные машины непосредственного действия	205
Переносные гидравлические клепальные машины	207
Электрический нагрев заклепок	210
VIII. Сварка	212
Электрическая сварка	220
Автогенная сварка и резка	231
Сварные швы	232
Спайка	233
IX. Пробивка отверстий, отрезка, насечка и накатка	235
Отрезка зубилом и ножницами	237
Циркулярные ножницы	244
Ножницы для параллельной разрезки полос	247
Опыт резки зубилом	248
Опыт резки ножницами	249
Непрерывное резание	252
Резание наклонными ножами	253
Разрезание дисковыми ножами	255
Пилка	259
Равновесие циркулярной пилы	261
Резание гладкими дисками	275
Машины для резания гладкими дисками	279
Насечка	283
Накатка	285

Г Л А В А IV.

Прокатка.

I. Продольная прокатка	286
Типы вальцов и прокатных станов	290
Деформации при прокатке между гладкими валками	300
Работа прокатки	304
Энергия прокатки	308
Захват валками	313
Изгиб изделия при прокатке	316
Опыты над прокаткой	319
Опыты прокатки свинца	326
Сравнительные опыты над прокаткой валками различных диаметров	329
II. Поперечная прокатка	333
Поперечная прокатка с электрическим нагревом	345
III. Геликоидальная (винтовая) прокатка	346

Г Л А В А V.

Волочение или протяжка.

Правка изделий растяжением	369
Растяжка и сжатие поперечным давлением	371
Протяжка через волоочильные доски	371
Одновременные вытяжка и прокатка	372
Волоочильные станы	373
Давление и работа волочения	374
Проекция давлений на направление волочения (сила волочения)	377
Трения на закруглении волоочильного отверстия	379
Энергия волочения	383
Опыты волочения	394
Сравнительные опыты волочения меди, латуни, железа и свинца	399
Опыты волочения толкающим усилием	402
Опыты волочения с толкающей оправкой	403

Г Л А В А VI.

Процессыгиба.

Сгибание	413
Гиб коленом	419
Гиб вальками	422
Вальцовки длягиба сортового и фасонного железа	425
Вальцовки длягиба тонких листов	428
Горизонтальные вальцовки длягиба котельных листов	428
Вертикальные вальцовки длягиба котельных листов	434
Гиб листов на оправках	435
Гиб листов судовой обшивки	436
Вальцовки длягиба труб	438
Гиб труб на оправке	438
Свертывание труб на оправке протяжкой через волоочильную доску.	439
Энергиягиба	439
Гиб на вальках в несколько пропусков	449
Опыты над гибом вальками	451
Испытания вальцовок длягиба листов	455
Правка гибом полос и листов	456
Правка проволоки	462
Навивка	462
Складка, загиб бортов	464
Фальцовка	466
Сложная складка	472
Выдавка или штампование	472
Штампование молотками	473
Штампование в матрицах пуансонами	479
Усилие штампования	486
Опыты над штампованием	487
Штампование гидравлическим давлением	489
Токарно-давильный процесс	489

ГЛАВА VII.

Стр.

Процессы кручения:	493

ГЛАВА VIII.

Термическая обработка стали.

Изменение формы и размеров	494
Закалка, отжиг, отпуск	496
Исследование явлений закалки, отпуска и отжига микрофотографией	501
Аллотропия железа	502
Диаграмма равновесия железо-углеродистых сплавов	503
Структурные составляющие стали	504
Влияние закалки	506
Отпуск и отжиг	506
Специальные стали	507
Закалка сжатием	509

Проф. К. КОДРОН

ГОРЯЧАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

В 3-х ТОМАХ

ОКОЛО 2000 СТРАНИЦ БОЛЬШОГО ФОРМАТА
С 4518 РИСУНКАМИ

ПЕРЕВОД С ФРАНЦУЗСКОГО
ПОД РЕДАКЦИЕЙ
ПРОФ. А. В. ПАНКИНА

УСЛОВИЯ ПОДПИСКИ

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ЦЕНА ПО ПОДПИСКЕ
ЗА ТРИ ТОМА В КОЛЕНКО-
РОВЫХ ПЕРЕПЛЕТАХ 40 РУБ.

ПРИ ПОДПИСКЕ ВНОСИТСЯ ЗАДАТОК
В РАЗМЕРЕ 6 РУБ., ОСТАЛЬНАЯ СУММА
УПЛАЧИВАЕТСЯ НАЛОЖЕННЫМ ПЛАТЕЖОМ.

При получении I тома 12 Руб.

" " II " 12 "

" " III " 10 "

ПЕРЕСЫЛКА ЗА СЧЕТ ПОДПИСЧИКА

Заказы и деньги направлять:

АКЦИОНЕРНОМУ ОБЩЕСТВУ

МОСКОВСКОЕ НАУЧНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО „МАКИЗ“.

= Москва, „6“, Цветной бульвар, 25. Телефон 32-21. =

или ПЕРЕДАВАТЬ УПОЛНОМОЧЕННЫМ, СНАБЖЕН-
НЫМ СООТВЕТСТВУЮЩИМИ УДОСТОВЕРЕНИЯМИ



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
МОСКОВСКОЕ НАУЧНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

«МАКИЗ»

МОСКВА

1 9 2 9

ХАРАКТЕРИСТИКА

труда С. Codron „Procédés de Forgeage dans l'Industrie

в 3 томах.

Предлагаемый к изданию труд представляет совершенно исключительную по богатству и современности содержания и в то же время по ясности изложения книгу.

Он захватывает целиком всю область горячей обработки металлов во всем ее промышленно-заводском разнообразии.

Современные методы и оборудование для горячей обработки металлов. Первый том представляет изложение вопросов, касающихся изменения форм без изменения количества материала. Здесь дано полное теоретическое освещение деформации металлов при обработке давлением, протяжкой, гибом и кручением. Сюда входит процесс ковки под молотами, прессами, в матрицах и без них, прокатка, операции гибки на бульдозерах и скручивания. Следует обратить внимание на исключительную полноту, проточность и ясность изложения всех теоретических вопросов о деформации нагретого металла под давлением и посредством удара. Подобного освещения, можно утверждать, не имеется ни в английской, ни в немецкой, ни в американской литературе.

Наряду с теорией мы встречаем изложение многочисленных опытов в области ковки, прокатки, протяжки, еще не опубликованных. Ценность их исключительна, так как они дают целый ряд самых необходимых коэффициентов к теоретическим формулам. Вместе с этим книги иллюстрированы данными и схематическими чертежами и описаниями тех машин-орудий, которые применяются для упомянутых деформаций: молоты, прессы, штампы, бульдозеры самых новейших конструкций.

Второй том носит характер более заводской и промышленно-экономической. Здесь разбираются важнейшие и современные методы обработки слитков, литых болванок, пакетов, протяжки проволоки круглой и фасонной, протяжки брускового фасонного сечения, изготовление листов кровельного, котельного железа и т. п. Далее описывается производство листов, киромоты, трабелы, кос, камнетесные инструменты, штыков, напильников, пил, подков, топоров, болтов, подковных гвоздей, фундаментных болтов, крючков, петель, костылей, закладок, шурупов, винтов посредством наковки и таски. Нет ни одной области кузнечно-штамповального дела ни одного изделия массового обихода-крестьянского, с.-х., инвентаря, камнетесного, железобетонного дела и деталей для связей частей машин, которая бы не была разработана основательно в этом томе.

Особенный интерес представляют для практики современные методы прокатки под электрическим нагревом, непрерывной прокатки и прокатки теплообработанного полужидкого металла.

Если второй том посвящен описанию производства средней, мелкой железоделательной и индустриальной, последний заводской полукустарный и кустарный характер, то третий том касается крупного машинного железоделательного производства.

Здесь мы встречаемся с производством валов и осей всевозможного назначения: трансмиссионных, железнодорожных, автомобильных и, главным образом, кривошипных валов; далее идет описание производства рельс разных сечений, вагонных колес и вообще колес разных сечений, автомобильных колес, бандажей, стальных кабелей, цепей, рессор; далее изложено производство труб различными методами, производство котлов и сосудов, горячая часть производства артиллерийских орудий, снарядов, бронзовых плит.

Все три тома имеют объем около 100 печатных листов. Рисунки выполнены весьма отчетливо и без затейливых сует конструкций деталей.

Труд премирован и вышел уже вторым французским изданием.

Богатство и разнообразие содержания, как теоретического, так и практического, обеснечит труду Codron'a широкое распространение среди учащихся и учащихся во ВТУЗ'ах, среди заводских работников самых разнообразных промышленных: крупной металлообрабатывающей, средней и мелкой полукустарной.

Нужно заметить, что горячие цены наших заводов отнюдь не могут похвастаться совершенством постановки дела; поэтому наши поковки, штамповки и другие изделия кузнечно-штамповального цехов стоят дорого. Особенности значения книги будут иметь для сельскохозяйственного машиностроения и для вагоно-паровозостроения, а также для автомобилестроения, для военной промышленности.

В труде Codron'a имеются подробнейшие сведения о всех новейших методах горячей обработки металлов. Наряду с этим известно, что труды по горячей технологии металлов наших авторов имеют 15—20-летнюю давность (Клаббе, Гавриленко и друг.).

Перевод этого классического труда на русский язык можно признать без натяжки делающим эпоху в литературе второй области.

Простота и ясность изложения делают книгу доступной всякому лицу, получающему среднее образование. Весь материал доступен также всякому мастеру, технику, пожалуй лишь за исключением I тома, но и для него нужны знания лишь элементарной математики.

Проф. А. Панкин.

Москва, январь 1929 г.

Моск. Мех. Инстит. им. М. В. Ломоносова.

СОДЕРЖАНИЕ.

ТОМ I.

Теоретические и экспериментальные основы процессов горячей обработки металлов.

Глава I.

- I. Процессы действия машин-орудий.
Классификация.
- II. Процессы обработки прессованием
Усилия сжатия.
Энергия сжатия.
- III. Центробежное сжатие.
Эффект сжатия.
- IV. Воздействие местным давлением.
Влияние толщины предмета и величины поверхности давления.
- V. Опыты над сжатием.
Влияние скорости.
Влияние высоких температур.
Сжатие при постоянном максимальном давлении и переменной температуре.
Энергия сжатия различных металлов.
Значение тягучести.
- VI. Прессы.
Прессы Витворта.
Прессы Дави, 4000 тонн.
Прессы Делатт и К^о.
Пресс Об-ва Горм и Бюир.

Глава II.

- I. Процессыковки ударами.
Закон подобия при ковке.
Влияние массы и скорости молота.
Влияние массы наковальни.
Опыты над влиянием веса наковальни.
Механическая энергия молота.
Полезное действие молота.
- II. Исследование явлений удара.
Опыт над загонкой стержня в кольцо.
Ручной молот.
Лобовой молот.
Опыт над падением бабы с переменных высот.
Сравнительные опыты над ударом и сжатием.
Опыты Ковалонга.
Опыты Шомиенна.
Опыты над повторными ударами.
Отношение затрат энергии для сжатия свинца и стали при вишнево-красном нагреве.

Опыты над повторными ударами той же бабой при различной высоте падения.
Те же опыты при весе бабы 30 кг.
Опыты над повторными ударами по латуни.
Опыты над повторными ударами по железу.
Сравнительные опыты над сжатием и повторными ударами по медным цилиндрам.
Сравнительные опыты над сжатием и повторными ударами по свинцовым цилиндрам.
Сравнительные опыты над сжатием и ударами возрастающей силы по трубчатым свинцовым цилиндрам в 40 мм. высотой.
Сравнительные опыты над сжатием, ударами возрастающей силы и повторными ударами постоянной силы.
Опыты над сжатием и ударами возрастающей силы по свинцовым трубчатым цилиндрам высотой 20 мм.
Сравнительные опыты над сжатием, ударами возрастающей силы и повторными ударами постоянной силы.
Опыты над сжатием и повторными ударами по трубчатым железным цилиндрам.
Опыты при красном и вишнево-красном нагреве.
Общие замечания по опытам над медленным сжатием и ударами.
Сравнительная мощность молота и прессы.

- III. Молоты.
Механические молоты.
Воздушные молоты с атмосферным давлением.
Паровые молоты.
Гидравлические молоты.
Гидравлический молот Аллена.

Глава III.

- I. Общее приложение различных процессов прессовки иковки.
Сбивание и обжимка криц.

II. Вытяжка.

Энергия для вытяжки.
Инструменты и орудия для вытяжки.
Обжимка.
Выглаживание.
Выравнивание.

III. Высадка.

Опыт над высадкой с оправками и матрицами.

IV. Работа на оправках.

V. Ручная штамповка.

VI. Ковка в матрицах.

Работа в матрицах под молотом.

VII. Клепка.

Давление при клепке.
Клепальные машины.
Клепальные молоты „Аллен и Редер“.
Клепально-ковочные машины.
Клепальные машины Ле-Брюнна с фрикционными дисками.
Паровые клепальные машины.
Клепальные машины Кука.
Клепальные машины Гуэн.
Гидравлические клепальные машины.
Гидравлические клепальные машины прямого действия.
Переносные гидравлические клепальные машины.

VIII. Процессы сварки.

Электрическая сварка.
Ацетиленовая резка.

IX. Пробивка отверстий, отрезка, насечка и накатка.

Отрезка зубилом и ножницами.
Циркулярные ножницы.
Параллельная разрезка.
Опыт резки зубилом.
Опыт резки ножницами.
Резка косыми лезвиями.
Резка круглыми лезвиями.
Резка циркулярной пилой.
Равновесие циркулярной пилы.
Резка гладкими дисками.
Насечка.
Накатка.

Глава IV.

Прокатка.

I. Продольная прокатка.

Системы прокатных станов.
Деформация болванки при прокатке между гладкими валками.
Механическая работа прокатки.
Энергия при прокатке.
Захват валками.
Способ расчета работы при прокатке.
Опыты над прокаткой.
Опыты над прокаткой между валками диаметром 100 мм, с последовательным обжимом в 3,7-мм. свинцовых брусков, сечением 20×20 мм.
Сравнительные опыты прокатки между валками разного диаметра.

II. Поперечная прокатка.

Прокатка с электрическим нагревом.

III. Геликоидальная прокатка.

Глава V.

I. Процессы протяжки.

Правка протяжкой.
Протяжка и сжатие.
Протяжка через матрицу.
Одновременные протяжка и прокатка.
Проволочноволоочильные станки.
Давление и работа протяжки через волокни.
Опыты над протяжкой через волокни.
Влияние диаметра.
Влияние трения.
Влияние скорости.
Сравнительные опыты над протяжкой меди, латуни, железа, свинца.
Опыты и протяжки давлением.
Опыты над протяжкой через волокни с пропускной оправкой.

Глава VI.

I. Процессыгиба.

Гиб, складка.
Гиб коленом.
Гиб валками.
Станки длягиба полос.
Трехвалковые вальцы для загибки.
Станки длягиба листов.
Вертикальные станки длягиба.
Гиб в матрицах.
Гиб листов судовой обшивки.
Гиб труб.
Гиб на оправке.
Гиб протяжкой через матрицу.
Энергия пригибе.
Гиб двумя сжимающими валками и одним направляющим.
Гиб валками в несколько пропусков.
Опыты надгибом валками.
Испытание станков длягиба листов завода в Фивес-Лилль.
Станок длягиба котельных листов Менье и К^о, в Фивес-Лилль.
Правка и выпрямление.
Правка металлической проволоки.
Навивка.
Фальсовка и циковка.
Закатка фальцев.
Сложная складка.
Выдавка.
Выдавка молотом на фигурных оправках.
Эстампирование на листах.
Усилие при выдавке поверхности листов.
Опыты над выдавкой.
Токарнодавильные операции.

Глава VII.

Процессы скручивания.

Глава VIII.

I. Термические обработки нагревом и охлаждением.

Изменения формы и размеров.

Закалка, отжиг и отпуск,
Двойная закалка.
Повторные закалка и отпуск.
Исследование влияния закалки, отпуска
и отжига микрофотографией.
Аллотропия железа, критические температу-
ры нагрева и охлаждения.

Аллотропия железно-углеродистых сплавов или сталей.
Влияние закалки.
Отпуск и отжиг.
Стали с содержанием других примесей
кроме углерода.
Закалка сжатию.

Т О М II.

Заводские производственные процессы горячей обработки металлов.

Глава I.

I. Обработка болванок и пакетов.

Прессование в жидком и тестообразном состоянии.
Прессование болванок между цилиндрами.
Центрофугирование болванок.
Кованные и прессованные болванки.
Сбивание криц.
Молоты дляковки криц.
Прессование криц.
Прокатка криц.
Сварка в крицы мелких железных обрезков.
Сварка крупных железных обрезков в пакеты.
Первичный обжим болванок.
Станы трио с переменными ручьями.
Станы трио с сближаемыми вальками.
Обрезка прибылей.
Ковка полос. Полосы квадратного сечения и плоские.
Прокатные полосы.
Пакеты из железного лома для прокатки.
Ручьи для прокатки пакетов.
Прокатка плоских полос.
Станы трио с переставляемыми кольцами.
Универсальные станы для плоских полос.
Станы для непрерывной прокатки.
Холодная прокатка лент.
Прокатка полос в тестообразном состоянии.
Обращенная прокатка полос.
Геликоидальная прокатка плоских полос.
Производство прутьев разрезкой полос.
Правка полос.
Полосы полигонального сечения.
Круглое штампованное железо.
Продольная прокатка круглого железа.
Холодная прокатка круглого железа.
Геликоидальная прокатка круглого железа между цилиндрами.
Калибровка круглого железа.
Производство прутьев протяжкой.
Протяжные полосы.
Прокатка круглого железа.
Станы микст.
Прокатка болванок в прутья.
Стан для прямолинейной непрерывной прокатки.
Стан Канера для непрерывной прокатки.

Проволочный стан.

Холодная прокатка проволоки.
Одновременная прокатка нескольких проволок.

Глава II.

I. Протяжка проволоки.

Проволочное производство.
Отжиг.
Многократная одновременная протяжка.
Непрерывная протяжка.
Непрерывная закалка стальной проволоки.
Гальванизация проволоки.
Цинковая проволока.
Протяжка проволоки через роликовые волокни.
Производство проволоки спиральной разрезкой листов и протяжкой.
Прокатные станы для спиральной разрезки и протяжки проволоки.
Изготовление проволоки непосредственно из жидкого металла.
Машина Леваассера.

Глава III.

I. Прокатка профилей.

Простейшие профили.
Двутавровые балки.
Усиленные двутавровые балки.
Крестовое железо.
Тавровое железо.
Универсальный прокатный стан для таврового железа.
Угловое железо.
Угловое железо с разномерными полками.
Зетовое железо.
Коробчатое железо.
Желобчатое полукруглое железо.
Карнизное железо.
Прокатка специального железа.
Прокатные станы Флота для профильного железа.
Полые бруски.
Правка и обрезка торцов.
Гнутые полосы.
Прокатка полос различной формы разных сечений.
Прокатка профилированных полос: тестообразном и холодном состоянии.
Выдавка профилированных полос (процесс Дика).

Глава IV.

I. Изготовление листов.

Жесть.
 Проковка тонких листов.
 Прокатка тонких листов.
 Листовое полированное железо.
 Прокатный стан с двумя парами валков или дубль-дуо.
 Непрерывная или полунепрерывная прокатка листов.
 Прокатка листов в тестообразном состоянии.
 Литые и прессованные листы.
 Свинцовые листы.
 Свинцовые листы, процесс сжатия и истечения.
 Разрезные свинцовые листы.
 Медные листы.
 Цинковые, латунные и алюминиевые листы.
 Железные и стальные листы малой, средней и большой толщины.
 Листы из литой стали или железа.
 Пакеты для изготовления листов.
 Правка листов.
 Прокатные листовые станы.
 Универсальный прокатный стан Билена и Адамса.
 Прокатный стан с двумя парами валков дубль-дуо.
 Листовые станы трио.
 Изогнутые листы.
 Штампованные листы.
 Гофрированные листы.
 Гиб на вальках гофрированных листов с мелкими волнами.
 Гофрированные листы с крупными волнами.
 Станки с дисками для гофрировки листов.
 Ребристые листы.
 Протяжные гофрированные листы.
 Изготовление сеток разрезкой листов и разводкой полос.

Глава V.

I. Ножевое и скобяное производство.

Производство лопат и заступов ковкой.
 Производство лопат и заступов прокаткой.
 Стан трио для прокатки лопат.
 Изготовление лопат с цельнотянутой трубкой.
 Изготовление лопат с двумя перьями.
 Чистовая отделка трубки.
 Вилы.
 Катанные вилы.
 Земледельческие орудия.
 Механическое производство кос.
 Вырезные косы.
 Производство кирок.

ТОМ III.

Производство мотыг.
 Производство режущих инструментов.
 Ковка штыков.
 Прокатка холодного оружия.
 Производство ножен без шва.
 Производство напильников и рашпилей.
 Машины для насечки напильников.
 Пилы.
 Скобяные изделия.
 Производство стяжных скоб.
 Производство изоляционных крюков.
 Производство стропильных скоб.
 Производство тормозных подвесок.
 Производство конских подков.
 Производство подков по способу Сибю.
 Холодная ковка алюминиевых подков.
 Производство подковных шипов.

Глава VI.

I. Гвозди и шипы.

Рифленые гвозди или шипы.
 Кованые гвозди.
 Производство прокатных гвоздей с ершом и насечкой.
 Подковные гвозди.
 Прокатный гвоздильный стан.
 Гвоздильный прокатный стан Фуллера.
 Гвоздильный станок с электрическим нагревом гвоздей.
 Крученые гвозди.
 Вырезные гвозди.
 Вырезные и прокатные гвозди.

Глава VII.

I. Шпильки, костыли, крюки и шпонки.
 Шпильки, костыли.
 Машина для изготовления шпалитов.
 Прокатка крюков.

Глава VIII.

I. Производство заклепок.
 Машина Гуэна.

Глава IX.

Шурупы и болты.
 Шурупы для дерева.
 Машина Слоана.
 Машина Винсента и Ле-Блана.
 Горячая накатка резьбы.
 Станки для накатки резьбы с четырьмя цилиндрами.
 Болты.
 Накатка резьбы на болтах.

Глава X.

I. Гайки.
 Станки для ковки гаек Сайма.
 Шайбы.

Заводские производственные процессы горячей обработки металлов.

Глава I.

I. Оси, валы.
 Оси.
 Вагонные оси.

Стальные оси.
 Трубчатые оси.
 II. Буксы осей.
 Валы.

Протяжка валов через волоки.
Протяжной гидравлический стан Робертсона.
Правка валов.
Гидравлический правильный станок.
Прокатка валов в жидком состоянии.
Высадка запящиков и электрическая наварка запящиков.
Полые валы большого диаметра.
Валы и оси из трубчатых частей.
Гибкие валы из стальной проволоки.

- III. Рывчаги.
Шатуны.
Кривошипны.
Коленчатые валы.

Глава II.

- I. Траверсы.
II. Направляющие, вилки, кулисы.

Глава III.

- I. Рельсы.
Стальные рельсы.
Прокатка рельс в теснообразном состоянии.
Полые рельсы.
Обрезка рельс.
Правка рельс.
Рельсовые накладки.
Шпалы.
Полые траверсы.

Глава IV.

- I. Колеса.
Дорожные вклипные колеса.
Бандажи без сварки.
Металлические дорожные колеса для сельскохозяйственных машин.
Комбинированные железные и деревянные колеса.
Прессы для сварки колес электрическим нагревом.
Колеса со сварной ступицы, процесс Гарнье.

- II. Железнодорожные колеса.

Колеса микет.
Железные колеса.
Сварные колеса.
Колеса гнутые из полос.
Колеса завода Лоретт.
Производство втулок.
Производство спиц.
Монтаж колеса.
Сварка колеса в матрице.
Дисковые колеса.
Дисковое колесо (процесс Арбелля).
Процессы завода С-т Этиенне.
Колеса из листовых секторов.

- III. Ребристые колеса.

Изготовление пакета колеса со спицами.
Сварка диска.
Прокатка колеса.
Прокатный колесный стан Петия и Годэ.
Прокатный стан с четырьмя коническими вальками.
Прокатный колесный стан Риттенхауза.

Процессы завода С-т Шамон.
Стальные колеса.
Навивка колес из полос, процесс Жибера.
Процесс Линдера.
Ковочные процессы завода в Фирминь.
Дисковые колеса из литой стали пресованные и закаленные.

- IV. Бандажи для железнодорожных колес.

Штампованные бандажи.
Литые стальные бандажи.
Выделка бандажей методом Кеннеди.
Стальные пресованные бандажи.
Прокатные бандажные станы.
Прокатный стан Гентильсталь.
Прокатный бандажный стан Вилкерса.
Прокатный стан Лонгриджа.
Прокатный стан Мунтона.
Калибровка бандажей пресованием.
Различные части колес.

Глава V.

- I. Металлические кабели.
Машины для кручения металлических кабелей.
II. Колючая проволока.
Сетка.
Машина Томе для изготовления металлических сеток.
Противоминные сети.

Глава VI.

- I. Петельные цепи.
Цепи с восьмерочными звеньями.
Обыкновенные цепи с клепанными звеньями.
Цепи со сварными звеньями.
Электрическая сварка звеньев цепей.
Цепи без сварки.
Стан Киндера для штамповки цепей без сварки.
Цепи с выдавленными звеньями.
Подвесные крюки и гайки.
Колки и якоря.
Якорь Мартена.

Глава VII.

- I. Рессоры, пружины.
Листовые рессоры.
Эксцентриковый стан для прокатки рессорных листов.
Рессоры Клиффа.
Спиральные рессоры.
Геликондальные рессоры.
Пружинные рессоры с двойным конусом.
Пружинные шайбы.

- II. Буферные коробки и буфера.
Обыкновенные буфера.

Глава VIII.

- I. Трубы и трубки.
II. Клепанные трубы.
Трубы клепанные по образующей.
Штамповки фитингов.
Трубы из вытяжных лент.

III. Сварные трубы.

Сварные трубы по образующей.
Обжим бортов.
Гиб железных труб.
Гиб труб валками.
Гиб на оправке и на прокатном стане.
Стан для свертывания труб из полос.
Сварка труб.
Направляющая оправка.
Стан для свертывания и сварки.
Протяжка сварных труб.
Трубы из спирально свернутых лент.
Сварка труб трением.
Трубы из нескольких лент в накрой.
Машины для электрической сварки труб.
Нагрев электрическим током.
Рёбристые прокатные трубы.

IV. Цельнотянутые трубы.

Протяжка муфт.
Трубы с канелюрами.
Прокатка труб на оправках.
Непрерывная прокатка.
Трубы, изготовленные прокатно-протяжным методом.
Конические трубы.
Прокатка на сердечнике.
Прокатка фасонных труб посредством осадки.
Прокатка труб в тестообразном состоянии.
Прокатка труб из болванок.
Прокатка с оправкой.
Глухие трубы.

V. Изготовление труб пуансированием через матрицы.

Матрицы для пуансирования труб.
Поверхностная отделка труб.
Выдавка труб на вращающейся оправке.
Производство медных труб электролизом.
Раскатка труб.
Правка труб.
Станки для правки труб с вращающимися дисками.
Колена и эмсевики.
Гибкие колена.
Гибкие трубы.

Глава IX.

I. Сосуды.

Клепанные сосуды.
Сварные барабаны.
Волнистые жаровые трубы.

Штампование волнистых труб.
Прокатные гофрированные барабаны без сварки.
Прокатные барабаны модель Делен.
Прокатные станы Делена для барабанов.
Сварные сосуды.
Штампованные сосуды.
Огневые коробки паровых котлов.
Производство бочек.

Глава X.

- I. Цилиндры и поршни.
- II. Поршни и поршневые скалки.
Скалки.
Поршни со скалками.

Глава XI.

- I. Огнестрельное оружие.
Ружейные стволы.
Пневматические пушки.
Стальные пушки.
Прессование пушечных болванок.
Стальные литые цапфенные кольца.
Витые проволоочные пушки.
- II. Снаряды.
Гильзы.
Гранаты.
Обыкновенные гранаты.
Ковка 75-мм гранат на заводе American Schell and Co в Патерсоне (Нью-Джерси).
Штампованные и прокатные гранаты.
Стальные снаряды кованные в жидком состоянии.

Глава XII.

- I. Броневые плиты.
Железные плиты.
Прокатка стальных плит в тестообразном состоянии.
Прокатка тонких броневых плит.
Бронепрокатный стан Крезю.
Прокатка плит различной толщины.
Гиб плит.
Фасонный гиб плит.
Вспомогательные операции.
Процесс Гарвея.
Цементация поковок.
Закалка в свинце.
Закалка в глицерине и нашатыре (процесс Феодосьева).
Рёбристые плиты.

