ОТ 69724

П. С. Истомин

ПРЕССОВАНИЕ МЕТАЛЛОВ

МЕТАЛЛУРГИЗДАТ 1944

Ак 4724
Ар-1644

Проф. П. С. ИСТОМИН

ДЕП

ПРЕССОВАНИЕ МЕТАЛЛОВ

ИЗДАНИЕ ТРЕТЬЕ
ИСПРАВЛЕННОЕ, ПЕРЕРАБОТАННОЕ
И ДОПОЛНЕННОЕ

130025

1968 К

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА

ГОСУДАРСТВЕННОЕ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛИТЕРАТУРЫ ПО ЧЕРНОЙ И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ
Москва 1944

СССР

АННОТАЦИЯ

Настоящая книга является третьим изданием, переработанным и дополненным в соответствии с последними достижениями в области прессования.

Книга содержит изложение теории процесса прессования, описание основного оборудования прессовых цехов, практики процесса прессования, а также методики проектирования прессовых цехов и расчета главнейших частей основного оборудования. В ней кратко освещены также вопросы экономики.

В книге использован ряд крупных работ в этой области наших и иностранных исследователей.

Книга рассчитана на инженеров и техников, занятых обработкой металлов и сплавов давлением, а также может быть использована в качестве учебного пособия во втузах и техникумах.

15. 07. 2007

Редактор *В. П. Адрианова*

Подписано к печати 3/VII—1944 г. Уч.-изд. л. 32,5. Печ. л. 21,5. + 6 вклеек
Л50457. Заказ 818. Тираж 5000.

Типография Металлургиздата, Москва, Цветной бульвар, 30.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие к третьему изданию	5
Введение	6
Общие понятия о процессе прессования по прямому и обращенному методам	8
Глава I. Теория процесса прессования	15
1. Прессование в холодном состоянии	16
2. Прессование металлов и сплавов в горячем состоянии	20
3. Изменение пластических свойств металлов и сплавов при высоких температурах и определение зоны их обрабатываемости в горячем состоянии	50
4. Определение оптимальной температуры прессования в зависимости от структуры и качества изделий	58
5. Определение минимальной степени деформации для обеспечения надлежащих качеств прессуемого изделия	72
6. Величина усилий, необходимых для прессования и прошивки слитков, и влияние различных факторов на эту величину	76
Глава II. Гидравлические пресса, необходимая при них аппаратура, устройства и работа на них	100
1. Горизонтальные пресса	100
2. Вертикальные пресса	122
3. Специальные пресса для производства свинцовых труб	136
4. Специальные пресса для производства труб методом проталкивания полой заготовки на длинной оправке через ряд матриц	138
5. Специальные гидравлические пресса для правки прутков и профилей растяжением	142
6. Аккумуляторы, их назначение и устройство, необходимая при них аппаратура, преимущества и недостатки разных систем	145
7. Насосы	166
8. Дистрибуторы (распределители), их конструкция и работа на них	172
9. Трубопроводы, их устройство и соединения	181
10. Вертикальные механические приводные коленчатые пресса	188
11. Печи и вспомогательные механизмы при них	194
Глава III. Технология производства	203
1. Металлы и сплавы, допускающие обработку прессованием	203
2. Сортамент и качество получаемых прессованием изделий	205
3. Точность размеров, получаемых при прессовании изделий и допуски	210
4. Температура прессования слитков различных металлов и их сплавов	211
5. Скорость прессования и истечения металла и зависимость ее от температуры	214
6. Определение размеров слитков	219
7. Стандарт на слитки и допуски	233
8. Производительность прессов различных систем и мощности	234
9. Инструмент для прессов, его форма, размеры, материал, стойкость и меры к увеличению срока его службы	237
10. Работа у пресса	253
11. Брак и отходы при прессовании и меры к их уменьшению	254

12. Технико-экономические результаты работы прессовых цехов 257
13. Сравнение прессования с другими методами обработки 258

Глава IV. Основы проектирования прессовых цехов 263

1. Программа работы цеха 264
2. Схема технологического процесса и размеры слитков 264
3. Определение потребного количества слитков и получающегося в производстве количества отходов 271
4. Баланс металла 273
5. Выбор оборудования цеха 275
6. Определение количества прессов, нагревательных печей и другого вспомогательного оборудования 275
7. Определение емкости аккумуляторов, числа и производительности насосов и мощности обслуживающих их моторов 281
8. План цеха, расположение оборудования и трубопроводов 307
9. Грузовой поток 308
10. Основы расчета трубопроводов гидропрессовых установок 309
11. Транспорт цеха 318
12. Электроснабжение цеха 318
13. Прочие вопросы проекта 319
14. Технико-экономические показатели производства 319

Глава V. Проектирование основного оборудования прессовых установок 320

1. Материалы, их анализ и механические качества 320
2. Определение главнейших размеров и напряжений 325

ПРЕДИСЛОВИЕ К ТРЕТЬЕМУ ИЗДАНИЮ

До опубликования первого издания труда «Прессование металлов» в 1932 г. не было систематизированного руководства по этому вопросу. Были разрозненные работы исследователей и производственников. Важнейшие из этих работ использованы в изданиях 1932 и 1935 гг., а более поздние — в настоящем, третьем, издании.

В период выхода в свет второго издания книги «Прессование металлов» самым мощным прутково-трубным прессом считался пресс в 3000 т. Практика производства легких и ультралегких сплавов потребовала создания прессов большего тоннажа. В производстве листов из электрона мощный прутковый пресс потребовался в качестве заготовительного агрегата для прокатного стана. Пресса в 4000—5000—7000 т стали обычными агрегатами заводов, обрабатывающих цветные, а в особенности легкие металлы. В настоящее время строят пресса до 10 000 т.

Такое увеличение прессовой мощности потребовало увеличения давления воды в установках с 200 до 300 кг/см^2, а также громадного увеличения емкости аккумуляторов. Этому требованию не отвечают по своей конструкции грузовые и пневматические поршневые аккумуляторы. Поэтому они потеряли сейчас свое значение и остаются только в некоторых старых установках. Аккумулятор пневматический беспоршневой получил общее признание и потому повсеместно распространен.

Прогресс в деле прокатки труб большого диаметра позволил заменить дорогие, трудоемкие кованые баллоны таких аккумуляторов более дешевыми, прокатанными; позволил строить громадные установки с двумя десятками баллонов с рабочей емкостью водяных баллонов до 10 000 л и общей — до 100 м^3. Заводы США изготовляют особой конструкции баллоны — многослойные, сварные из котельных листов.

Авиастроение, вагоно-, судо-, автомобилестроение и др. потребовало выпуска новых прессованных профилей крупного сечения. Это в свою очередь предъявило требование на мощные прутковые пресса, а также на специальные гидравлические правильно-растяжные машины и т. д.

В технической литературе появилось много новых работ по расчету прессов, аккумуляторов, трубопроводов, по изучению течения материала и т. п.; появились новые прессовые установки отечественных и заграничных заводов.

Отмеченный выше прогресс в области прессования создал потребность в выпуске третьего издания настоящей книги.

Буду признателен читателям, указавшим на недостатки, допущенные в данной книге.

Проф. П. С. ИСТОМИН

ВВЕДЕНИЕ

Прессование металлов и сплавов, как метод получения заготовки для прутков, проволоки, профилей и труб посредством продавливания металла или сплава через очко матрицы, благодаря ряду улучшений в конструкции прессов и в методах производства получило за последнее время большое распространение и сейчас может считаться одним из самых экономичных методов обработки цветных металлов и их сплавов в горячем состоянии. Это объясняется многими преимуществами данного способа.

Прессованием можно получать изделия почти или совершенно точно требуемых размеров и тем сократить до минимума холодную их прокатку или протяжку, представляющую собой весьма дорогой и медленный способ производства: за одну операцию можно получать медные и латунные тонкостенные трубы размером до 20,5×18 мм[1] с толщиной стенки всего 1,25 мм и тоньше, чего достигнуть другими методами обработки нельзя; можно получать прутки и заготовку для проволоки диаметром до 6—7 мм и т. д., т. е. выпускать изделия таких размеров, которые требуют иногда всего одной-двух холодных протяжек. Это, конечно, дает значительную экономию в стоимости обработки и повышает выход годного, так как уменьшает количество отходов на обрывы, захватки и т. п., неизбежные при протяжке.

Кратковременность процесса[2], значительное увеличение за последнее время мощности[3] прессов дают возможность работать со слитками большого веса[4] и, следовательно, получать изделия больших сечений и большой длины; другие усовершенствования этого метода

---

[1] Трубы всегда обозначают указанным образом, причем обозначение понимается так: 18 — внутренний и 20,5 — наружный диаметры. При желании прессованием можно получить трубы и значительно меньших размеров—до 12×10 мм, но это вызывает большой расход инструмента, значительно понижает производительность пресса и пр., а потому является нерентабельным.

[2] Латунный слиток диаметром 205 мм и длиной 340 мм превращается в трубу 81×75 мм длиной 13 000 мм в 6 сек., а весь процесс прессования, начиная от введения одного слитка и кончая введением в контейнер другого, продолжается не более 2—2½ мин.

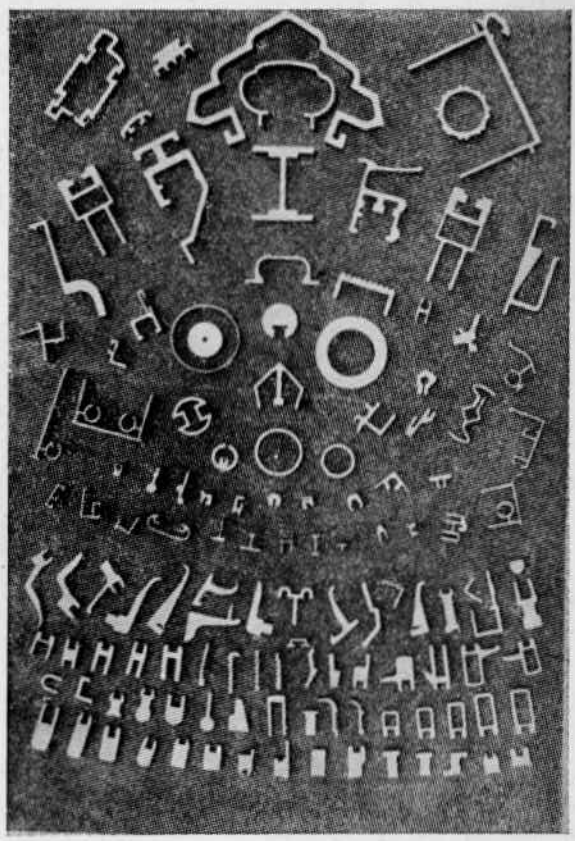
[3] Под термином «мощность» или «тоннаж» пресса обычно подразумевают максимальную силу его давления на главный плунжер.

[4] Сейчас строят пресса мощностью в 3000 т с контейнерами, могущими вместить слитки диаметром до 420 мм и длиной до 900 мм; пресса мощностью в 5000 т, позволяющие работать со слитками диаметром до 500 и длиной до 800—1200 мм, и пресса мощностью в 7000 и 10 000 т с контейнерами диаметром до 700 и длиной 1200—1600 мм. Листы и полосы из электрона обычно прокатывают из плоской прессованной заготовки размерами до 50×320×1200 мм (вес 35 кг) и 60×500×1000 мм (вес 55 кг); для этого, а также для производства профилей большого сечения и кузнечных заготовок и требуются такие мощные пресса, как 5000, 7000 и 10 000 т.

позволяют получать профили более точных и разнообразных сечений.

Возможность быстрой смены инструмента позволяет выпускать целые серии изделий разных размеров на одних и тех же прессах. Таким образом гидравлический пресс отличается максимальной гибкостью при выпуске изделий; в этом отношении с ним не может равняться прокатный стан. По качеству изделия, полученные прессованием, не уступают изделиям, изготовленным прокаткой, и значительно превосходят их по точности размеров.

Ассортимент изделий, получаемых прессованием, как видно на фиг. 1 и 2, весьма разнообразен. Этим методом можно получать не только простые, но и такие сложные профили, каких ни в коем случае нельзя изготовить прокаткой.



Фиг. 1. Образцы мелких изделий, получаемых прессованием

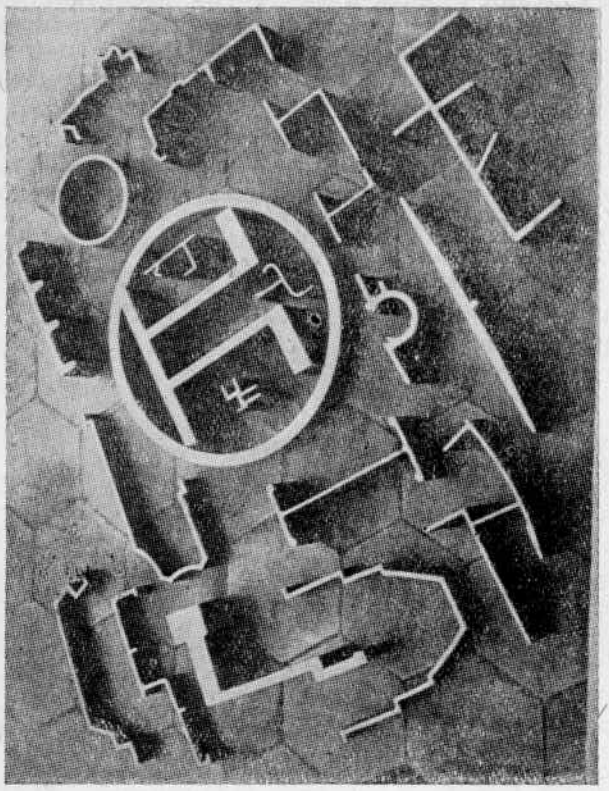
Сейчас редко можно встретить завод по обработке цветных металлов, который не имел бы у себя для получения указанных изделий нескольких прессов разной величины.

В Европе производство труб и профилей базируется главным образом на прессовании. В США, однако, гидравлические пресса в трубном производстве, насколько об этом можно судить по имеющимся литературным сведениям, такого преимущественного применения не получили. Там процесс производства труб из цветных металлов ведут методом прокатки с последующей обработкой волочением, а в последнее время — прокаткой в холодном состоянии на специальных станах Рокрайта. Причиной этого является довольно крупный недостаток обработки на прессах: необходимость оставлять неиспользованным так называемый «прессостаток», величина которого достигает 12—15%, а при трубах больших диаметров — до 25—30% и даже (при прошивке крупных труб диаметром около 280 мм) до 45%.

Метод прокатки труб более крупных диаметров (свыше 50—60 мм) стал в настоящее время распространяться и в Англии.

В производстве труб среднего и большого диаметров в недалеком будущем прокатный стан займет и у нас такое же место, какое он занимает в производстве стальных труб. Прокатный стан будет ведущим агрегатом, так как, обладая большей по сравнению с прессом производительностью (примерно в три-четыре раза), он дает мень-

шее количество отходов, более дешев и по своей первоначальной стоимости и в эксплоатации, не требует дорогостоящего и быстро изнашивающегося инструмента (игл, матриц, и т. п.). Конечно, для



Фиг. 2. Образцы крупных изделий, получаемых прессованием

производства труб малого диаметра (менее 50 мм), а также прутков, профилей, проволоки и пр. гидравлический пресс будет попрежнему занимать заслуженно завоеванное им место.

Общие понятия о процессе прессования по прямому и обращенному методам

В настоящее время прессованием обрабатывают главным образом медь, латунь с содержанием меди от 58 до 70%, алюминий и его сплавы, магний и его сплавы, медноникелевые сплавы, алюминиевая бронза, олово, свинец и т. п.

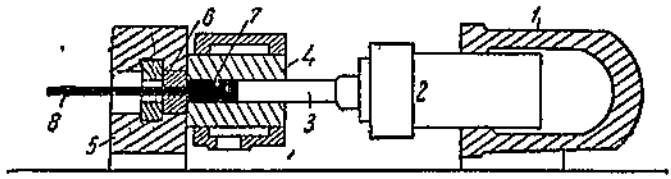
Первоначально процесс прессования применяли исключительно для производства прутков и труб из свинцовых и свинцовооловянных сплавов в холодном состоянии. Только около 45 лет назад удалось применить прессование к более тугоплавким металлам и сплавам в горячем состоянии, а в самые последние годы имеются попытки использовать прессование[1] даже для производства стальных труб. В связи с этим развитие процесса прессования шло по двум направлениям: прессование мягких металлов с большими скоростями в холодном состоянии и более тугоплавких металлов и сплавов с малыми скоростями в горячем состоянии. Важнейшим для техники ме-

[1] Методом прессования-выдавливания через очко матрицы. Получение стальной заготовки прессованием по методу Эргардта применяется давно.

тодом производства является второй. С него мы и начнем изучение процесса прессования.

Первый пресс для обработки тугоплавких металлов и сплавов был построен в 1894 г. Александром Диком (A. Dick), именем которого эти пресса и метод производства часто называют и до сих пор. Хотя в новейших, применяемых сейчас конструкциях и введено много различных усовершенствований, тем не менее принципы современной работы, так называемого «прямого метода», и первоначального процесса являются все же общими.

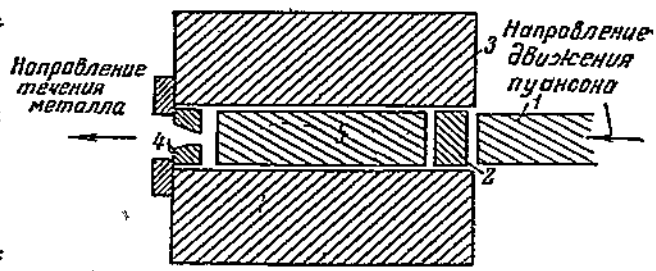
Схема простейшего пресса для производства прутков, работающего по прямому методу, представлена на фиг. 3. Введенный в кон-



Фиг. 3. Схема пресса: 1 — цилиндр; 2 — плунжер; 3 — пуансон; 4 — контейнер; 5 — передняя рама пресса; 6 — матрица; 7 — слиток; 8 — прессуемое изделие

тейнер слиток 7 (на фигуре показан черным, так же как и получаемый пруток) обжимается пуансоном, и материал течет через очко матрицы в том же направлении, в каком движется и пуансон. Отсюда и самый метод такой работы получил название «прямого». По окончании прессования главный плунжер вместе с пуансоном отводится назад при помощи цилиндров обратного хода (на этой схеме не показанных).

Для того, чтобы уменьшить трение пуансона о стенки контейнера и, следовательно, износ этой дорогой части инструмента, его диаметр часто делают значительно меньше диаметра контейнера, а на конце укрепляют так называемую прессшайбу. Схема прессования по прямому методу показана на фиг. 4.



Фиг. 4. Схема прессования по прямому методу: 1 — пуансон; 2 — прессшайба; 3 — контейнер; 4 — матрица; 5 — слиток

Химический состав сплавов, наиболее часто применяемых для прессования в горячем состоянии, указан далее, в разделе 1 главы III.

При прессовании материал слитка претерпевает сильное обжатие и структура металла значительно улучшается; в результате этого при правильной обработке по сравнению со слитком механические свойства прессованного изделия имеют более высокие значения. Об этом подробно будет изложено в разделе 4 главы II.

Прутки диаметром 25 мм и толще прессуются в одно очко, а более тонкие — в несколько (обычно от двух-трех до восьми-двенадцати)[1] (см. табл. 1). Применение матриц с большим количеством отверстий имеет целью не допустить значительного охлаждения слит-

[1] В 1911 г. автору пришлось видеть за границей фотографию матрицы для прессования круглых прутков из электрона в 32 очка. Закс («Практическое металловедение», ч. II, 1938, стр. 179) для прессования тонкой проволоки называет даже цифру 50.

ка в контейнере, уменьшить таким образом сопротивление металла или сплава деформации, понизить скорость истечения материала до определенных для каждого материала границ, так как переход их также влечет за собой получение недоброкачественных изделий.

Таблица 1

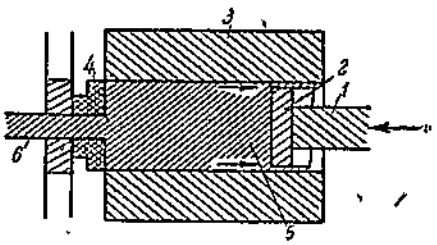
Диаметр прутка мм	Число отверстий	Диаметр прутка мм	Число отверстий
25 и выше	1	12—16	5—6
22—25	2	9—11	6—8
19—21	3	6—8	8—12
17—18	4	—	—

Наиболее часто прессование прутков ведут так, как указано в табл. 1.

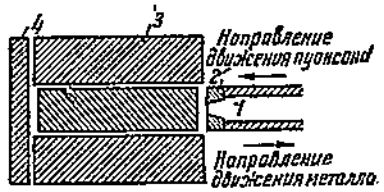
Профили, в зависимости от их сечения, могут прессоваться также через одно или несколько отверстий в матрице.

Трубы прессуются всегда через одно очко. Применяемые для этого пресса отличаются от приведенного выше типа наличием, кроме пуансона, прошивной иглы. Процесс прессования труб имеет свои особенности.

Процесс прессования по прямому методу при неподогретом контейнере имеет тот недостаток, что для обеспечения надлежащего качества прутка является необходимость оставлять в контейнере значительный остаток, приблизительно равный диаметру слитка, что



Фиг. 5. Прессование по прямому методу с рубашкой:
1 — пуансон; 2 — прессшайба; 3 — контейнер; 4 — матрица; 5 — слиток; 6 — прессуемое изделие



Фиг. 6. Схема прессования по обращенному методу:
1 — полый пуансон; 2 — матрица; 3 — контейнер; 4 — упорная шайба

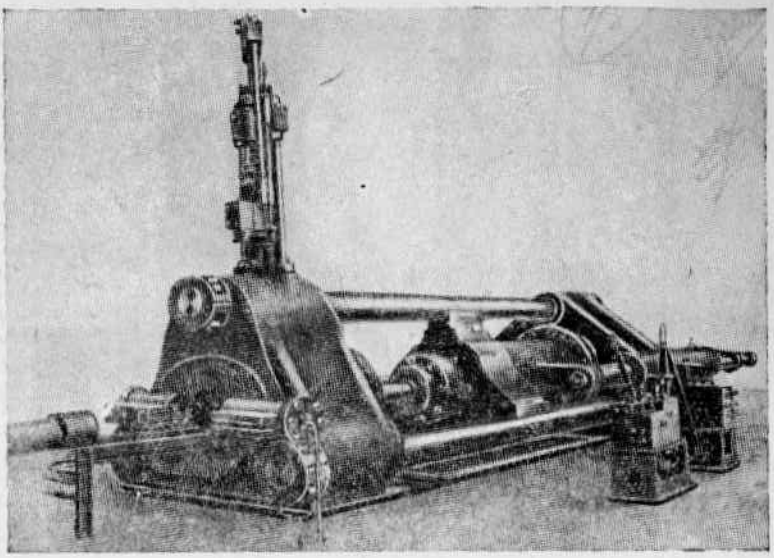
определяет величину неиспользуемого остатка в 25—30%. При работе на современных горизонтальных прессах с обогреваемым контейнером этот остаток удается снизить до 10—15%, а в вертикальных прессах при прессовании труб — даже до 3—5%, обеспечивая вместе с тем получение вполне доброкачественных изделий.

Получающийся остаток все же довольно большой. Это значительно уменьшает выгодность данного метода производства. Чтобы еще более уменьшить количество отходов, пуансон делают значительно меньшего диаметра, а прессшайбу — на 2—3 мм меньше диаметра контейнера (фиг. 5). При таком методе работы (с рубашкой) остаток можно довести до 10—12%, а иногда ниже (до 8%) от веса слитка [1].

С целью уменьшить отходы, а также и по другим соображениям, о которых будет сказано далее, Джендерс (1924 г.) предложил так видоизменить процесс, чтобы не слиток двигался к матрице, а наоборот, матрица, помещенная на конце полого пуансона, двигалась к

[1] В. В. Жолобов, Исследование условий получения медных труб прессовкой с точки зрения качества изделий, «Металлург» № 4, 1934, стр. 82—88. Следует однако иметь в виду, что пользоваться этим методом не всегда возможно. Например, он неприменим при прессовании алюминия, так как этот металл легко сваривается со сталью и этим портит контейнер.

слитку (фиг. 6) (обращенный процесс — металл движется в направлении, противоположном движению пуансона) [1]. В этом случае можно



Фиг. 7. Горизонтальный пресс

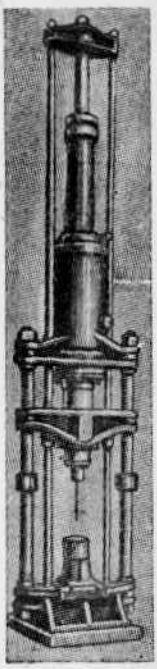
через матрицу пропрессовать почти весь слиток. В контейнере остается только окисленная поверхность слитка и небольшой остаток в виде кружка около 20 мм толщиной. Отходы в этом случае снижаются до 6—8 и даже до 5—6% от веса слитка. При этом получается большая экономия на необходимой для прессования мощности. Так, опыты Джендерса показали, что в то время как при прессовании по прямому методу латуни требовалось давление на прессшайбу 49—105 кг/см², при обращенном методе достаточно давления в 28—56 кг/см², т. е. на 43—46% меньше.

Полная установка для прессования металла обычно состоит из следующих частей:

1) пресса горизонтального (фиг. 7) или вертикального (фиг. 8) — это главная рабочая часть установки, производящая самую работу;

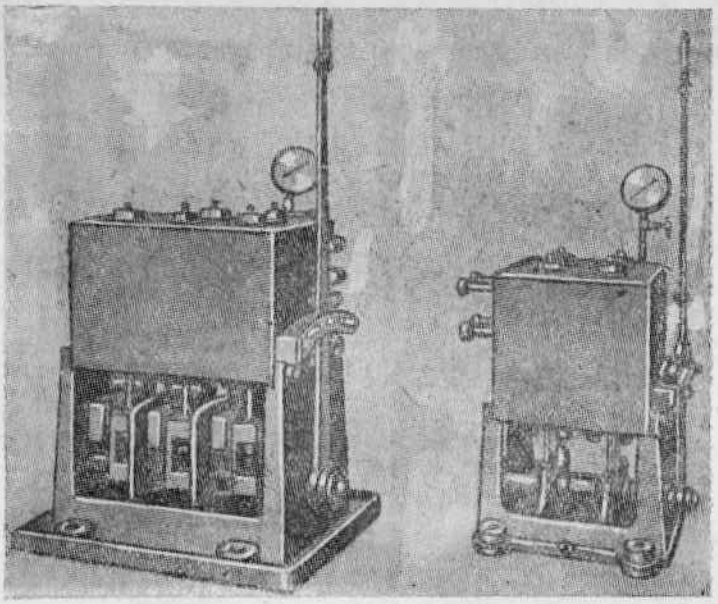
2) распределителя-дистрибутора (фиг. 9), направляющего воду высокого давления, примерно 200—300 и до 400 кг/см² к той или другой рабочей части пресса и управляющего таким образом его работой;

3) насосов (фиг. 10), подающих эту воду непосредственно к прессу или к специальному устройству — аккумулятору;

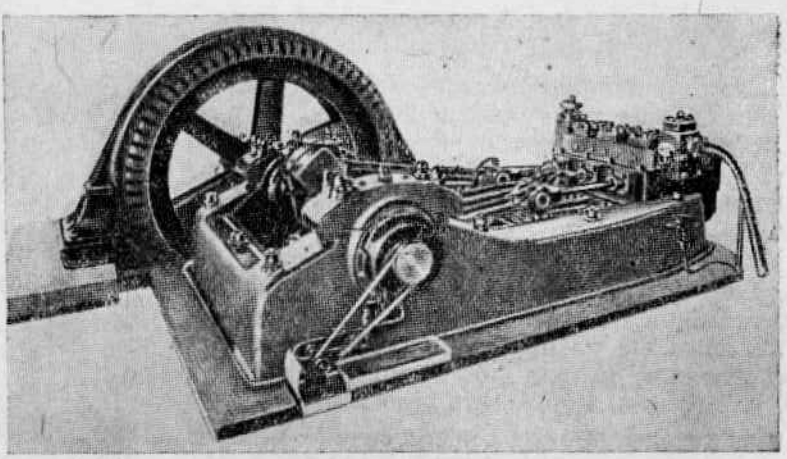


Фиг. 8. Вертикальный пресс

[1] В более современных прессах обращенный метод прессования осуществлялся несколько иначе. В последнее время практика отказалась от применения более сложных и дорогих прессов, работающих обращенным методом, так как удалось при применении подогреваемых контейнеров, хорошей смазки и пр. получать результаты, почти не уступающие первым. Об этом подробно будет сказано в последующих главах.



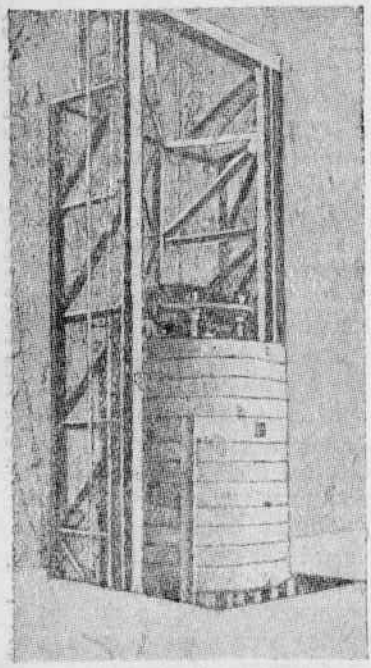
Фиг. 9. Распределители воды — дистрибуторы



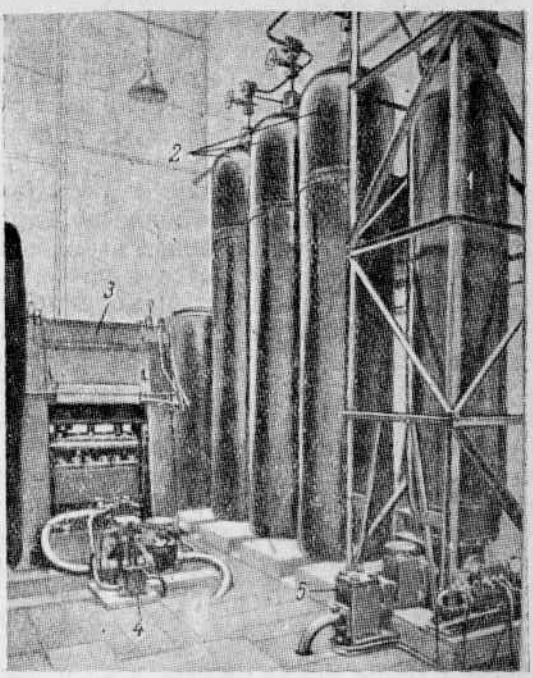
Фиг. 10. Трехплунжерный горизонтальный насос высокого давления, непосредственно соединенный с электромотором

4) аккумулятора высокого давления, грузового (фиг. 11) или применяемого в новейших установках пневматического (фиг. 12), служащего, с одной стороны, регулятором давления, т. е. сглаживающего толчки при подаче насосами воды в трубопровод, а с другой,— позволяющего значительно ускорить работу пресса, иметь более слабую насосную установку и удешевить таким образом стоимость всего оборудования;

5) аккумулятора низкого давления, или воздушного резервуара, так называемого виндкесселя (см. фиг. 185), наполняемого при обратном ходе пресса водой, выталкиваемой из главного цилиндра до получения в нем давления в 15—20 кг/см² при горизонтальных и 5—8 кг/см² при вертикальных прессах. Водой этого давления совершается холостой ход главного плунжера и иглы пресса, т. е. работа до введения слитка в контейнер включительно. Благодаря этому вода



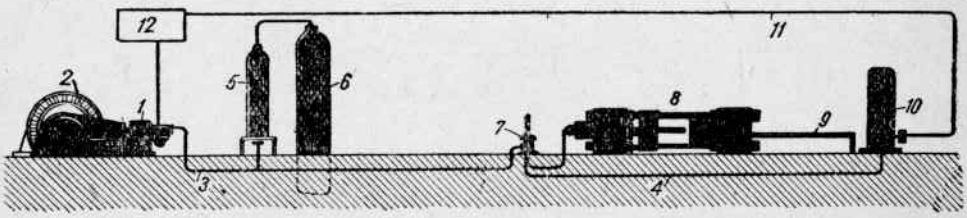
Фиг. 11. Грузовой аккумулятор постоянного давления



Фиг. 12. Пневматический беспоршневой аккумулятор с вертикальным трехплунжерным насосом и предохранительной аппаратурой:
1 — водяной баллон; 2 — три воздушных баллона; 3 — трехплунжерный насос; 4 — пусковая аппаратура насоса; 5 — пусковая аппаратура аккумулятора

высокого давления расходуется только на самое прессование и на прошивку, чем обеспечивается экономия в расходе энергии до 45—50%.

Схема всей прессовой установки с пневматическим аккумулятором показана на фиг. 13. Работа установки протекает следующим образом: если пресс не работает, насосы высокого давления **1**, приводимые в движение моторами **2**, подают воду по трубопроводу высокого давления **3** к аккумулятору, состоящему из водяного баллона **5** и



Фиг. 13. Схема прессовой установки с пневматическим беспоршневым аккумулятором:

1 — насос высокого давления; 2 — двигатель насоса; 3 — трубопровод высокого давления; 4 — трубопровод высокого и низкого давления; 5 — водяной баллон аккумулятора; 6 — воздушный баллон; 7 — дистрибутор; 8 — горизонтальный пресс; 9 — трубопровод низкого давления для наполнения водой из виндкесселя 10; 11 — обратный трубопровод; 12 — водяной резервуар

одного, а чаще из нескольких воздушных баллонов 6. Входящая снизу в баллон 5 вода сжимает находящийся в нем и в соединенном с ним верхней трубкой баллоне 6 воздух до полного давления в 200—300 кг/см². При достижении этого давления с помощью особого механизма вода переключается из водяного баллона и через трубу, не показанную на схеме, поступает к приемным клапанам насосов 1, так что давление в баллоне 5 уже повышаться не будет. Когда пресс 8 начинает действовать, то дистрибутором 7 вода одновременно и от насосов и аккумулированная в большом количестве в баллоне 5 под полным давлением подается в пресс 8, который и совершает требуемую работу. При обратном ходе пресса вода из главного цилиндра тем же дистрибутором 7 подается по трубе 4 в аккумулятор низкого давления 10, а по достижении в нем указанного выше давления направляется по трубе 11 в бак 12, откуда насосы 1 и берут ее по мере надобности. После такой зарядки баллона 10, находящегося постоянно под указанным давлением, холостой ход пресса совершается всегда уже водой низкого давления по трубе 9 из этого баллона. Вода высокого давления — дорогая энергия. Подается она в совершенно наполненный цилиндр пресса только для создания соответствующего рабочего давления, т. е. расходуется в небольшом сравнительно количестве. Благодаря этому значительно удешевляется процесс прессования. При применении в установке аккумуляторов общая мощность насосов может быть значительно меньше, чем при работе непосредственно от насосов, так как в этом случае последние рассчитываются не на максимальный расход воды на каждое прессование, а на средний часовой. В результате насосная и моторная установки, а также подводка к ним тока и оборудование электрической станции значительно удешевляются. Поэтому в настоящее время прессовые установки без аккумулятора применяют сравнительно редко — только при прессах с небольшим рабочим давлением (имеются установки до 1000 т).

ГЛАВА I

ТЕОРИЯ ПРОЦЕССА ПРЕССОВАНИЯ

Первый пресс был, как это было отмечено выше, построен около 50 лет назад Александром Диком, а первые работы по изучению течения металла были проведены около 40 лет назад и принадлежат нашему академику Н. С. Курнакову, который в своей совместной с С. С. Жемчужиным работе «Давление истечения и твердость пластических тел», напечатанной в журнале Русского металлургического общества [1], положил начало научного обоснования этого метода производства.

После этой статьи в технической литературе появились работы, принадлежащие нашим и иностранным исследователям [2]. Особо должны быть отмечены работы русских исследователей, которые, по мнению автора, являются наиболее ценными, так как дали возможность не только узнать законы течения материала при прессовании, но, что самое главное, дали на основе законов пластической деформации правильное объяснение причин происходящих явлений и методику, формулы и константы для теоретического определения величины потребного для прессования давления, т. е. силы давления пресса, а следовательно, размеров деталей пресса, производительности насосов, размеров аккумуляторов и т. п.

Среди этих работ в первую очередь следует указать на работы ученика академика Н. С. Курнакова — профессора-доктора С. И. Губкина, который совместно со своими учениками П. А. Захаровым, И. Г. Скугаревым, В. И. Кутайцевым и другими дал несколько работ по вопросу изучения пластической деформации металлов [3]. Им лично написана книга «Пластическая деформация металлов» [4], в которой изложены законы деформации всех видов обработки давлением. Следует указать также на работы и книгу профессора-доктора И. М. Павлова [5], в которой читатель может найти также много материала по изучаемому здесь вопросу; на работы инж. П. А. Сарычева [6], инж. В. В. Жолобова [7], на справочник-каталог по деформированным лег-

[1] ЖРМО № 3, 1913, стр. 256—298.

[2] Подробный их список был приведен во втором издании книги автора «Прессование металлов», вышедшей в 1935 г. Поэтому в настоящем издании даны указания только на позднейшие работы и главным образом русских авторов, как наиболее ценные.

[3] См. «Экспериментальные вопросы пластической деформации металлов», вып. I, 1935; вып. II, 1936. ОНТИ, Металлургиздат.

[4] ОНТИ, 1935.

[5] Теория прокатки и основы пластической деформации металлов, ГОНТИ, 1938.

[6] П. А. Сарычев, Истечение алюминиевых сплавов, 1940, Оборонгиз.

[7] Журнал «Металлург» № 4, 1934, стр. 82—88 и др. Они указаны в сносках соответствующих по содержанию страниц книги.

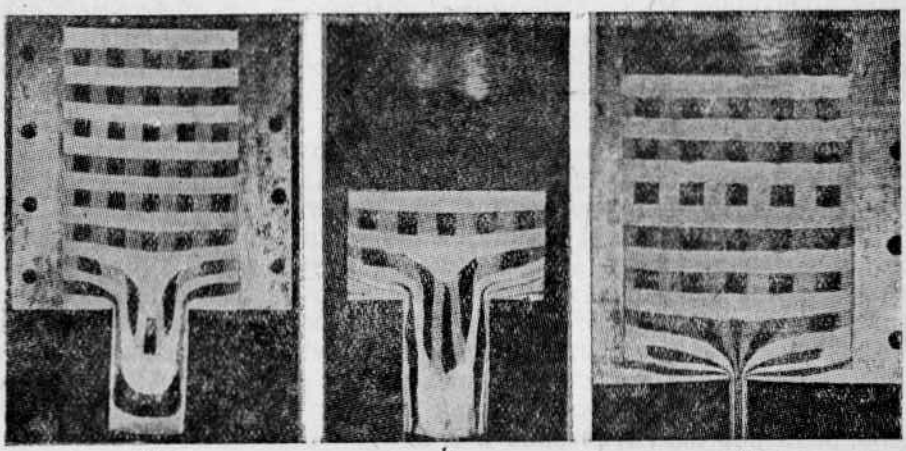
ким сплавам и др.[1]. Эти работы велись как с пластическими массами, так и с металлическими слитками разных металлов и сплавов в холодном и горячем состоянии.

Оказалось, что большие затруднения при прессовании представляют наиболее часто применяемые на практике сплавы меди с цинком вследствие резкой изменяемости их пластических свойств в зависимости от состава и температуры. Поэтому изучению поведения этих сплавов при прессовании уделено значительное внимание в литературе, а также и в этой книге.

I. ПРЕССОВАНИЕ В ХОЛОДНОМ СОСТОЯНИИ

Пластические массы

Для изучения истечения пластических масс слитки составляли из американского вазелина, мела и краски в пропорции 19 : 18 : 73; их собирали из различно окрашенных шайб (фиг. 14 *a*, *b* и *c*). Прессование проводили в разъемных вдоль на фланцах цилиндрах, что давало возможность легко их разбирать при различных ступенях прессования и, разрезав тонкой стальной проволокой слиток, наблюдать движение его частиц.



a *b* *c*

Фиг. 14. Разрез слитка, составленного из дисков пластической массы: *a* — первая ступень прессования (диаметр контейнера 152 мм, диаметр матрицы 65 мм); *b* — то же, что и на фиг. 14, *a*, но показана девятая ступень прессования; *c* — разрез слитка диаметром 152 мм, прессуемого через матрицу диаметром 12 мм, вторая ступень прессования

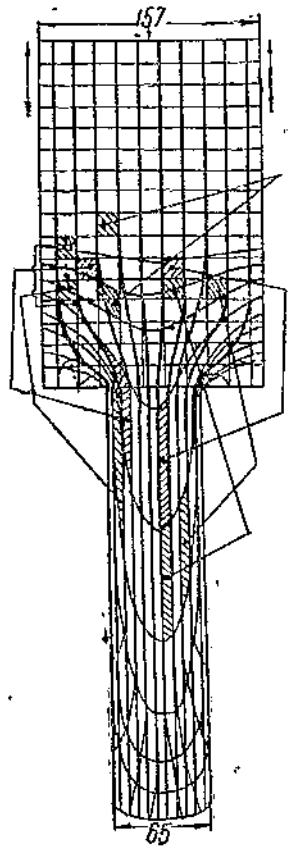
Законы истечения, которым подчиняются при прессовании пластические массы, можно вывести на основе изучения фиг. 15.

В части слитка у прессшайбы не замечается никакого передвижения частиц. Здесь имеется одно параллельное перемещение горизонтальных слоев, соответствующее движению прессшайбы и пуансона. Формоизменение ограничивается небольшой зоной, расположенной вблизи матрицы. Сечения, из которых был построен слиток, остаются в прутке в той же последовательности, в которой они находились и в цилиндре. Вблизи матрицы в слитке и в прутке они приобретают форму воронки. Также необходимо отметить, что формоизменение передней части слитка, вступающей вначале в матрицу, значительно меньше, чем идущих за передней частью. С момента, когда эти последние частицы появились в прутке, все остальные идут с такими же точно формоизменениями.

[1] Изд. металлообрабатывающего завода под ред. И. С. Виштынецкого, С. М. Воронова, А. Ф. Белова и М. П. Семенова, 1940.

Исследование определенного круга явлений пластических масс показывает, что область, в которой главным образом происходит деформация, тем ближе лежит к отверстию матрицы, чем меньше отношение диаметра матрицы к диаметру цилиндра, и с другой стороны, зона формоизменения тем продолжительнее, чем больше это отношение. В углах цилиндра скорость движения частиц падает до нуля. Перед самой матрицей происходит очень быстрый переход скорости на максимальное ее значение. На фиг. 16 показано изменение скорости по длине слитка и в начале выходящего из матрицы прутка. Величины скоростей отложены на диаграмме в каждой точке перпендикулярно плоскости разреза по оси слитка.

Из этого исследования можно сделать заключение, что распределение давления по сечению слитка при прессовании пластических масс почти равномерное.



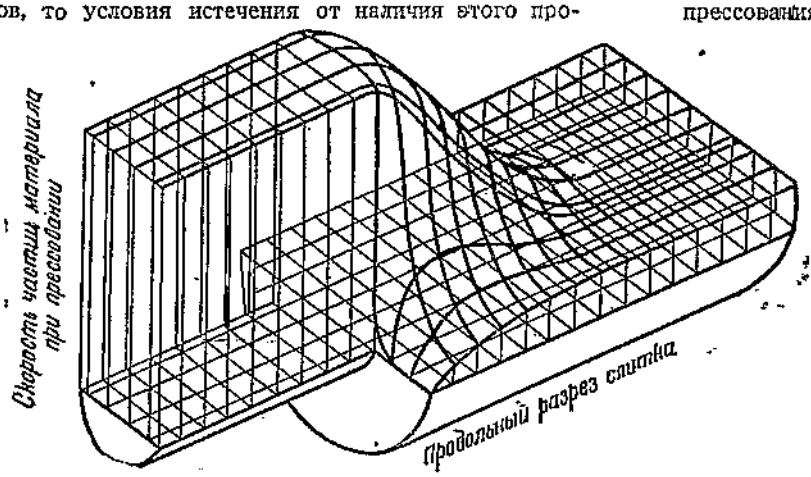
Фиг. 15. Диаграмма истечения пластической массы при прессовании из контейнера диаметром 152 мм через матрицу диаметром 65 мм (состояние после третьей ступени прессования)

Олово

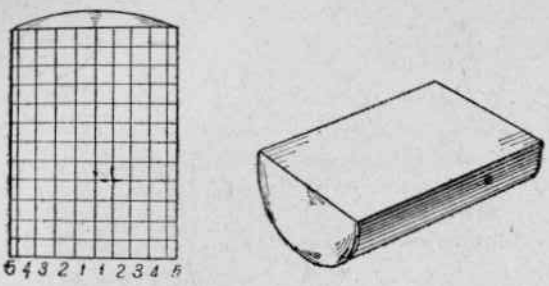
Очень близко к картине истечения пластических масс подходит механизм прессования в холодном состоянии таких металлов, как олово, свинец и др.

Исследование процесса истечения олова проводилось так называемым «методом координатной сетки».

С этой целью слиток разрезали по оси симметрии (фиг. 17), на плоскости разреза мелкой строжкой наносили продольные и поперечные штрихи, так что получалась квадратная решетка; эти штрихи заполняли при опытах в холодном состоянии краской, в горячем — смесью огнеупорной глины с графитом. Так как слиток в контейнере подвергается всестороннему равномерному обжатию при прессовании круглых прутков, то условия истечения от наличия этого про-

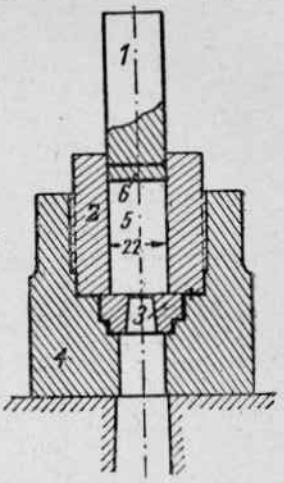


Фиг. 16. Диаграмма скорости движения частиц в различных точках при прессовании пластической массы из контейнера диаметром 152 мм через матрицу диаметром 65 мм



Фиг. 17. Слиток с координатной сеткой на одной половине для изучения процесса истечения материала при прессовании

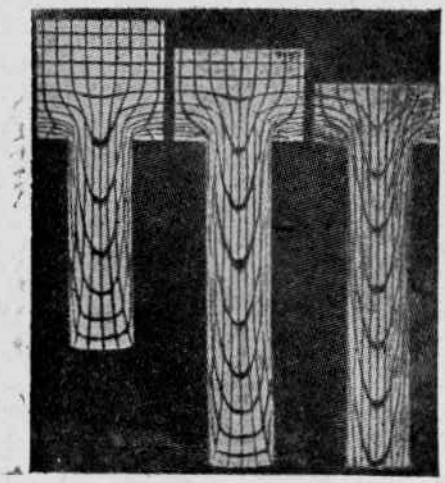
дольного разреза не меняются. Материалом для лабораторных опытов в холодном состоянии служило олово. Примененный для лабораторных опытов прибор изображен на фиг. 18. Слитки олова были диаметром 22 мм и длиной 20, 30 и 50 мм.



Фиг. 18. Схема прибора Эйсбейна для опытов прессования прутков олова:
1 — пуансон; 2 — контейнер; 3 — матрица; 4 — корпус прибора; 5 — слиток; 6 — прессшайба

На фиг. 19 показано изменение координатной сетки при лабораторных опытах прессования слитков олова в различных стадиях процесса. На фигуре хорошо видно, что в этом случае деформация возникает только поблизости от матрицы. Более отдаленные от матрицы частицы слитка осаживаются без всяких деформаций параллельными слоями до тех пор, пока постепенно не втянутся в общий поток материала, направляющегося в матрицу.

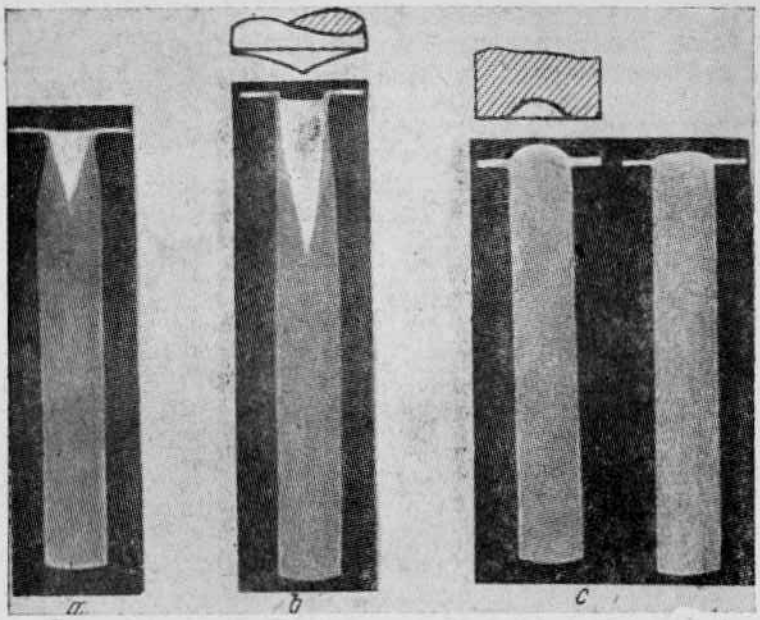
При прессовании наружные кольцевые зоны слитка, упирающиеся о лобовую поверхность матрицы, вначале осаживаются по поверхности контейнера, образуя в углах зоны с сильно затрудненной деформацией. Благодаря этому в углах контейнера образуется как бы воронка. Между этими угловыми и осаживаемыми наружными частями слитка происходит затем медленный, но все же непрерывный обмен материала.



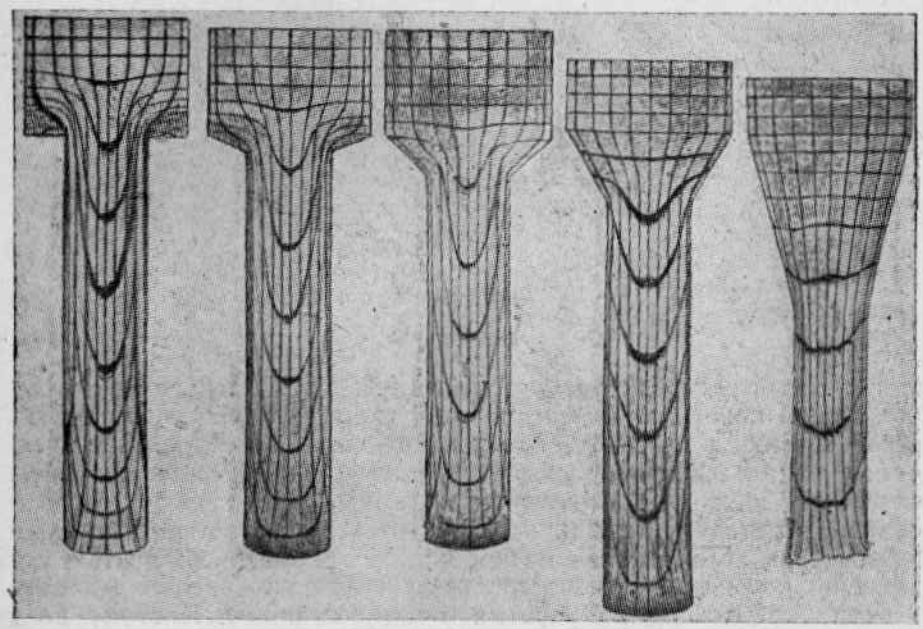
Фиг. 19. Истечение олова при прессовании в холодном состоянии образца диаметром 22 и длиной 50 мм на пруток диаметром 11 мм; контейнер хорошо шлифованый

Выходящий пруток по всей своей длине, кроме самой передней части, деформирован одинаково: передний конец прутка на протяжении, несколько большем диаметра последнего, судя по изменению решетки, выходит почти недеформированный.

В дальнейшей стадии прессования при значительном уменьшении толщины прессостатка процесс истечения на заднем конце слитка значительно изменяется. С того момента, когда высота прессостатка еще составляет четверть его диаметра, на заднем конце образуется воронка, подобная усадочной раковине (фиг. 20). Если процесс продолжить, то воронка приобретает такие размеры, что вместо прутка получается только тонкая трубка, причем наружный ее диаметр значительно меньше диаметра прутка. Опыты в лаборатории показали, что образованию воронки можно воспрепятствовать, применяя вогнутые прессшайбы.



Фиг. 20. Образование воронки при прессовании олова в холодном состоянии:
a — с плоской прессшайбой; *b* — с конической прессшайбой; *c* — устранение возможности образования воронки при применении вогнутой прессшайбы



Фиг. 21. Истечение олова при прессовании в холодном состоянии через очко матрицы с различными углами α (диаметр контейнера 22 мм, диаметр прутка 11 мм, длина образца 50 мм)

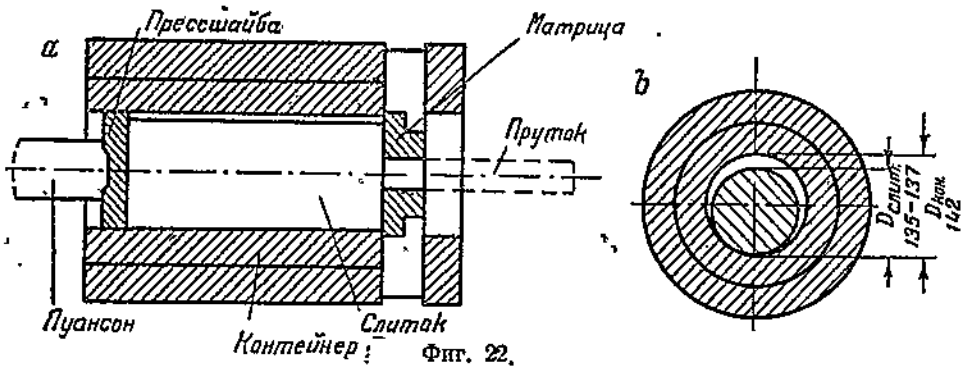
Матрицы для опытов применялись как с цилиндрическим очком, так и с коническими при различном угле наклона α (см. фиг. 120 и 21). При этом преследовали две цели: изучить влияние формы матрицы а) на истечение материала и б) на расход потребной для прес-

сования силы. Ввиду того, что обычно применяемые на практике матрицы имеют вводную часть в виде конуса (см. фиг. 120), этот вопрос имеет весьма важное значение. Оказалось, что оптимальным углом очка матрицы является угол наклона α (образующей очка с осью матрицы), равный от 30 до 50°, когда требуемое давление, примерно, на 30% меньше, чем при матрице с цилиндрическим очком. Более острый угол α вызывает потребность в большей силе на прессование. Это вызывается тем, что в удлиненной матрице приходится преодолевать, несмотря на уменьшение вследствие этого внутреннего трения, более значительное наружное трение о стенки матрицы. При матрицах цилиндрических, наоборот, превалирующим будет внутреннее трение. На фиг. 21 видно, что с уменьшением угла α процесс течения слоев слитка идет спокойнее. Они оседают, все более и более приближаясь к матрице, сохраняя при этом свою горизонтальность. В общем картина истечения олова в холодном состоянии подобна приведенной выше у пластических масс (фиг. 15).

2. ПРЕССОВАНИЕ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ В ГОРЯЧЕМ СОСТОЯНИИ

Латунь и медь

Основная работа по исследованию явлений истечения при прессовании металлов в горячем состоянии проведена с латунью. Слиток для удобства введения его в контейнер имеет диаметр значительно меньше диаметра контейнера — от 5 до 35 мм (фиг. 22, *а* и *b*). Вследствие



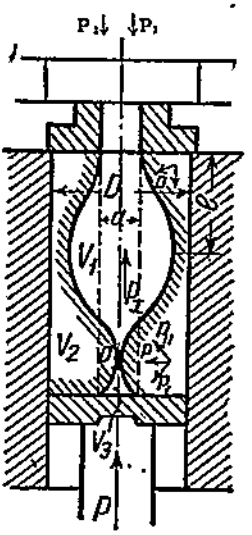
Фиг. 22.

этого между слитком и контейнером получается эксцентрическая щель. Совершенно понятно, что при нажатии пуансоном материал слитка до начала течения в матрицу, встречая большое сопротивление, устремится в направлении меньших сопротивлений — в стороны, будет заполнять эту щель (происходит так называемая «запрессовка» слитка). В начале этой запрессовки, когда слиток почти не соприкасается с контейнером, передаваемое на прессшайбу давление полностью передается на кольцевое сечение слитка у матрицы; удельное давление по этому кольцу будет больше, чем на прессшайбу. Поэтому по достижении им определенной величины запрессовка и начнется у матрицы, продвигаясь постепенно с увеличением нажатия к прессшайбе. Так как при осаживании каждого участка слитка вследствие соприкосновения со стенкой контейнера будут возникать все бо́льшие и бо́льшие силы трения, то для доведения запрессовки до конца слитка давление на пуансон давление нужно будет все более и более увеличивать. По окончании запрессовки при дальнейшем повышении давления будет возрастать напряжение материала у матрицы и, когда оно достигнет соответствующей материалу и температуре величины,

начнется выдавливание — истечение материала через матрицу. Так представляется процесс прессования, если не обращать внимания на разность температур контейнера и поверхности слитка, и далее температур поверхности и внутреннего ядра-слитка.

На практике механизм прессования значительно сложнее. Контейнер может быть подогрет до температуры не свыше 350—400°, так как при более высоких температурах даже особо качественные жароупорные стали в значительной степени теряют свою прочность. Если при прессовании алюминиевых или магниевых сплавов при такой температуре контейнера не будет значительной разницы между его температурой и температурой слитка, то при прессовании меди и латуни, нормальная температура прессования которых доходит минимум до 750—850°, указанная разница температур не может не сказаться на картине истечения и величине усилия прессования.

Естественно, что соприкасающиеся даже с нагретыми стенками контейнера поверхностные слои слитка будут сильно охлаждены, отсюда станут менее пластичными, менее подвижными. Еще более «замерзжены» и менее подвижны будут части слитка у прессшайбы, которая для каждого прессования берется из охлаждающего бака или охлаждается на воздухе при передаче ее от передней части пресса к загрузочному столику при вводе в контейнер. Так как коэфициент трения металлов в пределах зоны горячей их обработки при понижении температуры возрастает, то отсюда понятно, что даже при хорошо отполированных стенках контейнера и прессшайбе они не могут не оказывать очень сильного торможения при движении по ним соприкасащихся частиц слитка, а так как эти наружные слои и внутреннее ядро слитка имеют разную температуру, а отсюда и разную пластичность и подвижность частиц, то мы можем наперед сказать, что наиболее легко будет вытекать в матрицу внутренняя более горячая часть слитка; более затруднено будет участие в этом потоке наружных соприкасающихся со стенками контейнера слоев и совершенно затруднено участие частей слитка, соприкасающихся с прессшайбой. Отсюда естественным является (фиг. 23) деление в процессе прессования слитка на три объема: V_1 — внутренний, V_2 — по боковой поверхности и у матрицы и V_3 — у прессшайбы.

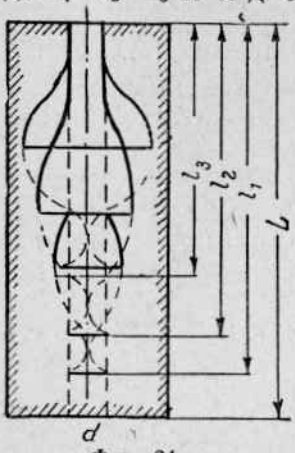


Фиг. 23.

Из сказанного следует, что в конце запрессовки напряжение материала у прессшайбы будет наибольшим, а так как внутреннее ядро, т. е. объем V_1, имеет возможность более свободно течь в направлении матрицы, то его место будет занимать объем V_2, задерживающийся силами трения, сжимая ядро и, при наличии указанных выше условий при прессовании более тугоплавких материалов отжимая объем V_3 в виде конуса (на фиг. 23 с вершиной в точке o). Сказанное выше при прессовании латуни усложняется еще тем, что во время нагрева слитка при высокой температуре в наружных зонах выгорает цинк, сплав становится более богатым медью, а отсюда более тугоплавким, менее пластичным и слиток по сечению еще более гетерогенным. Также понятно, что при прессовании легких сплавов при нагретом контейнере и при применении высококачественной смазки контейнера, уменьшающей коэфициент трения, картина истечения должна быть более простой, так как торможение по стенкам контейнера и прессшайбе будет значительно меньше.

Процесс прессования можно разделить на четыре периода. Конец запрессовки и образование указанного выше конуса объема V_3, диаметром и высотой, равного диаметру очка матрицы, считается концом первого периода. В течение этого периода времени течение материала из матрицы еще не начиналось.

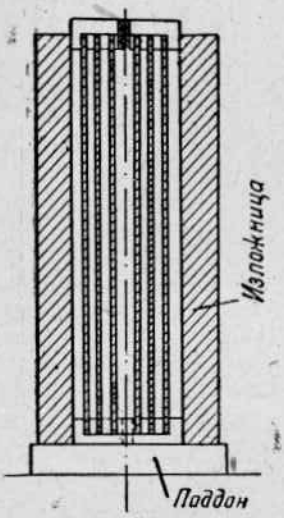
Во время второго периода прессования, по мере продвижения прессшайбы к матрице, т. е. уменьшения длины слитка (фиг. 24) с L до l_1—l_2—l_3 и т. д. и уменьшения сил трения на его поверхности о стенки контейнера, развиваемое прессом давление расходуется все более и более только на чистую деформацию. Вследствие этого бывшие ранее менее пластичными, как более холодные у стенок контейнера, частицы объема V_2 под влиянием увеличившегося напряжения приходят также в подвижное состояние и увлекаются частицами объема V_1 в матрицу. Объем V_1, таким образом, увеличивается и, когда напряжение у очка матрицы достигает необходимой максимальной величины, материал его начинает вытекать из очка матрицы.



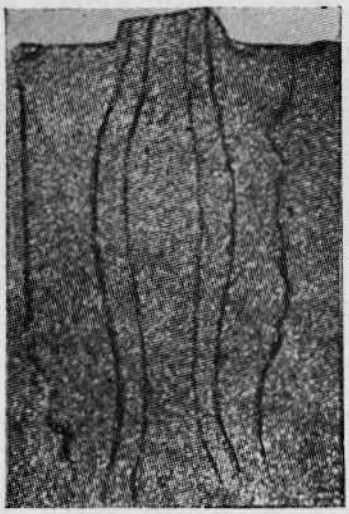
Фиг. 24.

На фигуре видим, что объем V_1 значительно больше, чем $\frac{\pi d^2}{4} \cdot L$. Начало выхода прутка из матрицы является концом второго периода прессования.

Указанное деление объема слитка на V_1, V_2 и V_3 может быть доказано следующим опытом. Если полый слиток подвергнуть некоторому давлению, затем остановить процесс и слиток вынуть из контейнера, то при рассмотрении можно заметить, что внутренние его стенки получают как раз указанное (см. фиг. 23) сужение. Если слиток, состоящий из нескольких вставленных одна в другую медных труб, как показано на фиг. 25, залитых в промежутках между ними латунью, подвергнуть такому же небольшому обжатию до появления начала



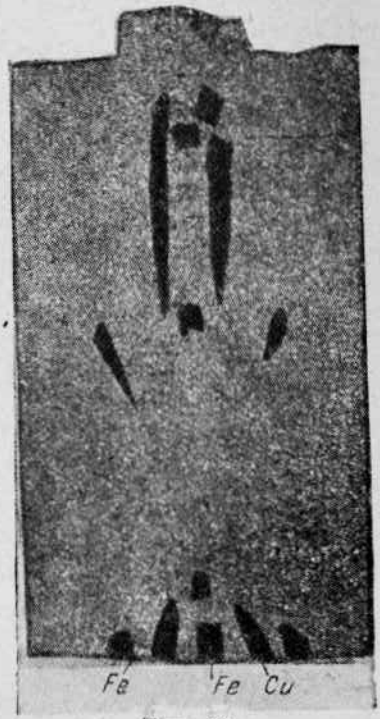
Фиг. 25.


Фиг. 26.

Фиг. 27.

прутка из матрицы, то увидим картину, показанную на фиг. 26, вполне подтверждающую наличие отмеченного явления. Для доказательства того, что объем V_3 в процессе прессования латуни при известных условиях действительно создается, был проделан также следующий опыт. В латунном слитке (фиг. 27) были насверлены отверстия. В среднее отверстие были помещены железные цилиндрики одинаковых диаметров и высоты, в отверстия справа и слева были помещены такие же цилиндрики из меди и в крайние была заштампована мягкая железная

стружка. Такой слиток был нагрет, немного спрессован, вынут из контейнера и разрезан вдоль. Оказалось, что из всех цилиндриков у торца слитка осталось только несколько кусочков, остальные впрессовались далеко в слиток, причем наибольшее перемещение получили кусочки по оси слитка (фиг. 28). Оставшиеся на прессшайбе кусочки ясно показывают некоторое сужение и наличие конического объема V_3. Железные цилиндрики в середине впрессованы в осевом направлении на определенных расстояниях; параллельно с ними идут медные цилиндрики, но в выходном отверстии на расстоянии 36 мм они начинают отрываться; железная стружка в середине слитка обнаруживается в виде цельносвязанных штабиков с отклонением от оси, показывающим безусловное расширение зоны объема V_1, согласно фиг. 23, 24 и 26.

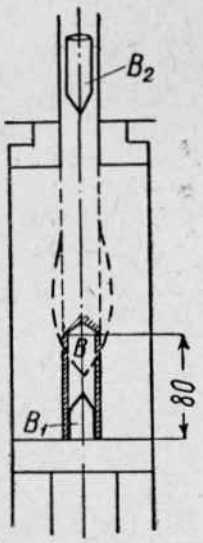


Фиг. 28.

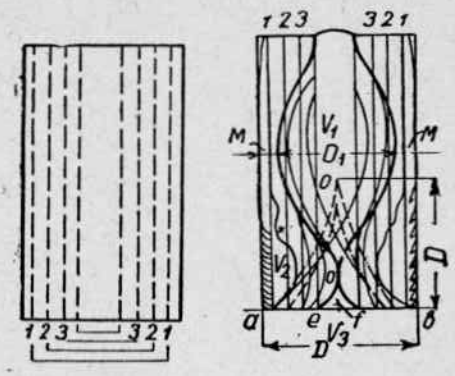
Полученное ясно подтверждает наличие сужения объема V_3, не участвующего пока в процессе, наличие объема V_2, мало участвующего в начале процесса, и, наконец, V_1, состоящее из более горячего, однородного и пластичного материала, принимающего главное участие в течении к матрице.

Следует также отметить, что при наличии условий, влияющих на образование указанного пережима, всякое тело, какой бы прочностью оно ни обладало, как только оно выходит за пределы V_3, обязательно отрывается от части, находящейся в границах V_3.

Это хорошо показывает следующий опыт. В середину торца латунного слитка был вставлен стальной стержень. Несмотря на то, что нагрев слитка до температуры, обычной при прессовании латуни (около 750—780°), для стали совершенно недостаточен (обычно сталь обрабатывается при температуре 1200—1250°), после нагрева и прессования оказалось, что стальной стержень был смят в суженном месте



Фиг. 29.



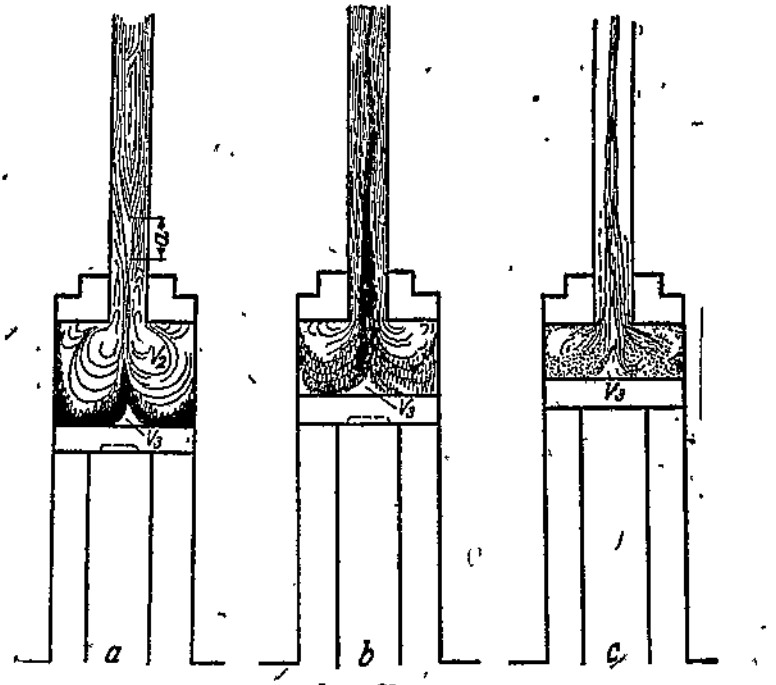
Фиг. 30.

в виде конуса B_1 (как показано на фиг. 29), а при дальнейшем прессовании часть стержня B_2, выступавшая за границы объема V_3, оторвалась и ушла далеко в пруток (фиг. 29).

Если составить слиток из залитых латунью медных концентрически расположенных труб, как то было указано выше на фиг. 25, спрессовать его в горячем состоянии до начала выхода из матрицы прутка, остановить процесс, вынуть и разрезать слиток, то увидим картину, изображенную на фиг. 30, также вполне подтверждающую приведенные выше рассуждения. Весь слиток представляет собой три совершенно различные указанные выше части: V_1, V_2, V_3, причем

объем V_1 больше объема сердцевины $\frac{\pi d^2}{4} \cdot L$. Совершенно понятно, что хороший пруток можно получить только из объема V_1, так как объем V_2 в значительной мере содержит более холодный, а потому менее пластичный и даже иногда более хрупкий наружный слой M, загрязненный к тому же окислами, полученными слитком при его нагреве в печи. Совершенно холодный, включающий усадочную раковину, загрязнения и окислы, объем V_3 не участвует пока в процессе истечения.

Третий период начинается с момента начала истечения материала из матрицы. Длина слитка под влиянием давления сокращается, причем точка o (фиг. 30) конуса объема V_3 к концу третьего периода перемещается в O ближе к матрице, пока весь объем V_1 и частично наиболее горячая и пластичная часть V_2 не вытечет через матрицу в пруток. Теперь в контейнере останется в углах у матрицы только наиболее холодная часть V_2 и объем V_3. Остаток последнего в контейнере к концу третьего периода представляет собой как бы луковицу (фиг. 31) с острием конуса, доходящим до отверстия матрицы. Точка o, которая к концу первого периода была на расстоянии 50 мм от прессшайбы, в конце второго периода на расстоянии 72 мм, теперь отстоит (фиг. 30 и 31) на 142 мм от той же шайбы.

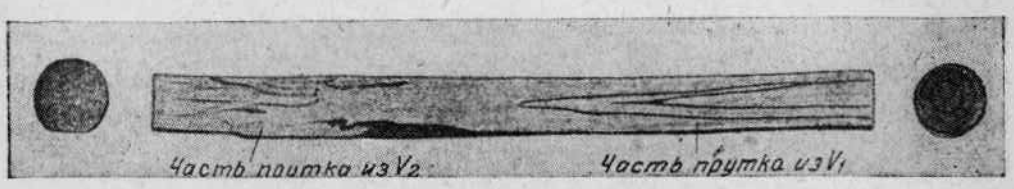


Фиг. 31.

Объем V_3, таким образом, возрос за счет осаживания на нем сжатых более холодных, а потому менее пластичных и менее текучих, чем во внутреннем ядре, наружных частиц слитка, образовав конус с высотой, равной диаметру контейнера D[1]. Этот момент является концом третьего периода прессования.

[1] Получение такого большого прессостатка объясняется исключительно тем, что указанный опыт проводился на прессе с холодным контейнером. При работе на современных прессах прессостаток можно оставлять значительно меньших размеров. Об этом было сказано в введении и будет еще говорено далее. Этот пример приведен исключительно с целью дать наиболее резкое разделение объемов слитка при соответствующих условиях. Во всяком случае объем V_3 допускать в изделие ни в коем случае не следует.

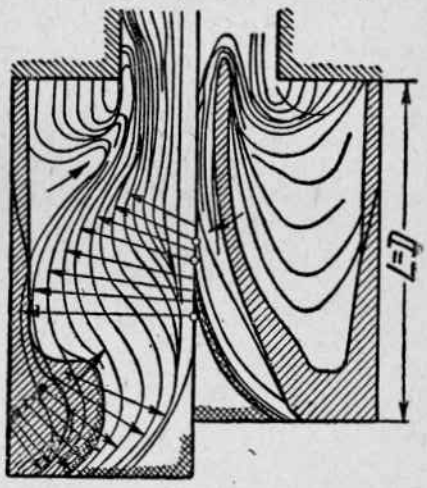
Интересно отметить, что объем V_2 в углах контейнера и матрицы не остается от начала до конца процесса постоянным. При соответствующем продвижении прессшайбы к матрице в этих углах создается настолько большое напряжение материала, что даже более холодные в этих углах и наружные части слитка, т. е. материал, бывший ранее менее пластичным, к концу третьего периода прессования также принимает участие в общем движении материала в матрицу и покрывает выпрессовываемый пруток неравномерным слоем как бы инородного материала. Это хорошо видно на фиг. 32 слева; справа



Фиг. 32.

показано строение конца здорового участка прутка, полученного из объема V_1. На фиг. 33 слева стрелкой показан момент течения металла из угла объема V_2 в матрицу.

Если прессование продолжить дальше (четвертый период процесса), то в пруток будут уже попадать остатки загрязненного окислами, менее пластичного объема V_2, поэтому пруток уже не будет представлять собой сплошного однородного тела (см. фиг. 31, *b*), а при дальнейшем прессовании в четвертый период (см. фиг. 31, *c*) в пруток будет загоняться даже материал и из объема V_3. Такой пруток не может быть плотным и однородным; его не следует выпускать из мастерской; он не должен итти ни на какое более или менее ответственное изделие. Этот пруток может быть использован только для изготовления разного рода втулок для неответственных изделий, обрабатываемых изнутри на токарном или сверлильном станке.



Фиг. 33.

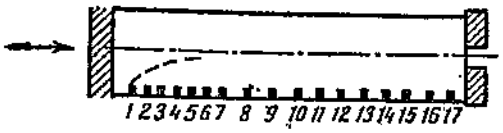
Так как к началу этого четвертого периода высота конуса V_3 дошла до матрицы и при дальнейшем прессовании внутрь прутка будут попадать частицы из наружной зоны слитка, то таким образом при прямом методе прессования в четвертый период процесса иногда может устанавливаться, в сущности, обращенное[1] движение наружных частиц главным образом из объема V_3 и последних остатков (из углов у матрицы) объема V_2.

Для проверки этого положения был проведен следующий опыт.

В латунный слиток были вставлены на равных расстояниях небольшие стальные штифты с выбитыми на них номерами от **1** до **17** (фиг. 34). Слиток был нагрет, уложен в контейнер цифрой **17** ближе к матрице и цифрой **1** — к прессшайбе и подвергнут прессованию. При исследовании конца полученного у прессшайбы прутка оказалось, во-первых, что штифты (фиг. 35) попали в самом конце процесса в пруток в обратном порядке, т. е. цифрами **1, 2, 3** и т. д. вперед, а **15, 16, 17** — в задний конец, и, во-вторых, расположились по длине прутка не в

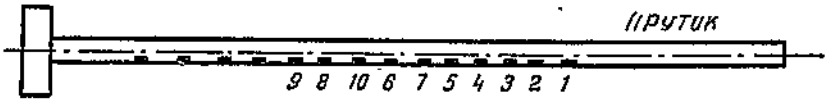
[1] Это явление не всегда, как показано далее, имеет место.

правильном порядке цифр, а с некоторым его нарушением. Это безусловно подтверждает возможность при определенных условиях создать обращенное, в сущности, течение металла в конце процесса и наличие отмеченных выше случаев прорыва частиц из объема V_2 (см. фиг. 33).

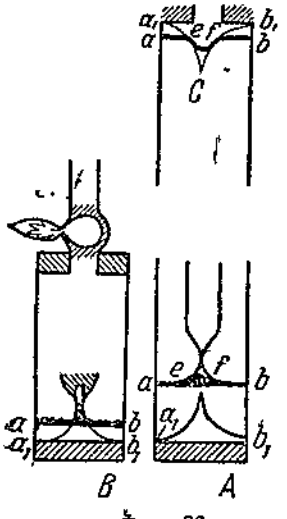


Фиг. 34.

Вопрос о том, как закладывать слитки в контейнер — усадочной лункой к матрице или прессшайбе решается следующим образом. Если слиток уложить лункой к шайбе, то на основании сказанного выше, для того чтобы получить доброкачественный пруток, необходимо оставить в контейнере остаток длиннее на 2,5—3 см. Тогда в процессе прессования лунка сомнется (фиг. 36, *A*), ее глубина значительно уменьшится и самое прессование слитка начнется от поверхности *aefb*. Если лунка была нормальной, неглубокой, то она не выйдет за пределы объема V_3 и до конца прессования останется на шайбе. Если лунка была очень глубока, что встречается сравнительно редко (только при горячем литье слитка), то ее



Фиг. 35.



Фиг. 36.

конец может оказаться выше точки *o* (см. фиг. 30) объема V_3 и образует в нем газовый пузырь. При выходе прутка из матрицы еще сравнительно мягкий материал прутка может прорываться находящимся под большим давлением газом (фиг. 36, *B*).

Если, наоборот, уложить слиток лункой к матрице (фиг. 36, *C*), то лунка, как и в первом случае, прежде всего сомнется. Части *ae* и *fb* останутся на дне контейнера у матрицы, в то время как небольшой остаток лунки войдет в переднюю часть прутка. Такое расположение было бы очень удачным, но остатки шлака в лунке при прессовании царапают очко матрицы, и весь пруток выходит с глубокими продольными бороздами.

Поэтому обычно при работе с неотрезанной лункой слиток кладут по первому способу.

Следует ли обрезать и обтачивать слитки? На основании сказанного отрезка усадочной раковины является напрасной затратой работы и материала, так как бо́льшее значение в данном случае имеет засоренность окислами поверхности слитка, чем наличие этой лунки.

С другой стороны, так как окисленность поверхности слитка получается при нагреве его в печи, то обточка слитка перед нагревом является также бесполезной.

Все описанные выше опыты были проведены с латунью и выводы сделаны на основе работ на прессе старой конструкции с необогреваемым контейнером. У современных прессов контейнер всегда обогреваемый; его температура может доходить до 350—400°. Охлаждающее влияние стенок контейнера имеет теперь значительно меньшее значение и картина истечения получается более спокойная; объем

V_1, дающий пруток хорошего качества, получается бо́льшим. Все это позволяет вырабатывать изделия даже из латуни без риска испортить качество изделия на современных прессах со значительно меньшим прессостатком в контейнере, доходящим до 10—15%.

Отсюда ясно, что для уменьшения процента отходов следует работать на прессах с обогреваемым контейнером, причем выгоднее, если это позволяет качество прессуемого металла, брать пресса большей мощности с длинным ходом и небольшим диаметром контейнера. В новых прессах отношение $L:D$ для бо́льших диаметров равно обычно 2,25—2,5 и для малых может доходить до 4,5—6, что дает возможность также снизить процент отходов.

Наилучшим методом, гарантирующим непопадание в пруток наружной окисленной поверхности, а следовательно, дающим возможность вести процесс прессования дальше и использовать возможно полнее и объем V_2, является прессование с так называемой «рубашкой». Способ этот состоит в следующем (см. фиг. 5). Прессшайбу берут на 2—3 мм в диаметре меньше диаметра контейнера, тогда при прессовании она врезается в толщу слитка и вокруг нее получается тонкий слой материала в виде трубы (рубашка), в которой и остается весь окисленный в печи наружный слой. Слиток при таком методе работы берут длиннее приблизительно на 2,5 см. Потеря металла в рубашке и остатке у матрицы меньше, чем при прессовании без рубашки. Выход увеличивается на 15—20%, остаток доходит до 8—12% и стоимость металла в изделии поэтому снижается на 10—15%, но шайбы эти очень быстро изнашиваются, а главное, что остающуюся в контейнере рубашку приходится удалять вторым ходом пресса, что понижает его производительность на 50%. Если слой окисленной поверхности будет значительный, а шайба не будет хорошо центрирована в контейнере или будет иметь малый диаметр, то при эксцентричном расположении шайбы окисленная поверхность слитка все же будет частично попадать в пруток и давать негодные изделия.

Поэтому прутки с рубашкой обычно вырабатывают только по специальным заказам на особо ответственные изделия.

Весьма интересные работы по изучению истечения латуни и меди были проведены разными исследователями методом координатной сетки[1], который считается в настоящее время наиболее правильным и дающим заслуживающие наибольшего доверия результаты. Нанесенную в плоскости разреза сетку заполняют обычно смесью огнеупорной глины с графитом, что дает возможность слиток легко разнимать в любой стадии прессования и по изменению координатной сетки судить о движении частиц, величине деформации и имеющихся напряжениях в той или другой части слитка.

Работу вели со слитками диаметром 170 мм и длиной 700 мм, т. е. в заводских условиях и на прессе с обогреваемым контейнером. Картина истечения вследствие этого получилась, конечно, отличная от той, которую мы видели выше.

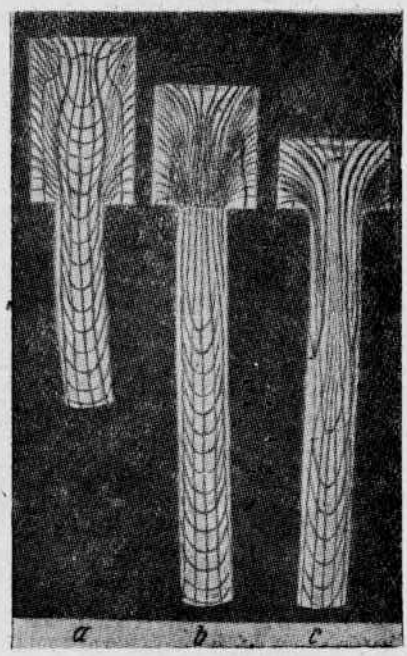
На фиг. 37 дан процесс истечения при прессовании латуни Л-58. Здесь весь объем слитка приходит в движение. Отчетливо видно по стенкам контейнера торможение наружной зоны слитка, которое постепенно ведет к напоминающему обвал[2] втягиванию в конце процесса внутрь прутка верхней части слитка около прессшайбы. В начале процесса (фиг. 37, *а* и *b*) у прессшайбы намечается некоторое образование объема V_3. Передняя часть опрессованного прутка вы-

[1] Эйсбейн, Пластическая деформация металлов, перев. под ред. проф. П. С. Истомина, Цветметиздат, 1933, стр. 27—39.

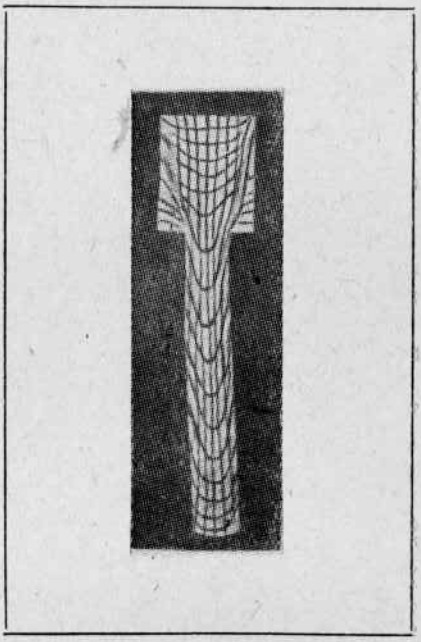
[2] То же, что и на фиг. 33 слева, нижняя стрелка.

ходит почти недеформированной, затем на известном протяжении выходит деформированной совершенно одинаково; к концу процесса, как только в матрицу начинает втекать упомянутый выше обвал, отдельные волокна средней части прутка подвергаются очень сильной и неравномерной деформации (фиг. 37, с). Когда объем V_1 заканчивается и в пруток втягиваются окисленные и менее пластичные частицы поверхностной зоны объема V_2, пруток становится двухслойным и непригодным.

При этих опытах с горячими латунными слитками процесс истечения, как это видно, протекает иначе, чем при холодном прессовании свинца, олова, а также алюминия и электрона, о которых будет говорено далее. Поэтому была поставлена задача выяснить причину этого



Фиг. 37. Истечение материала при прессовании латуни Л-58 в горячем состоянии на прессе с шероховатым контейнером ($D = 170$ мм; $d = 50$ мм; $L = 750$ мм)



Фиг. 38. Истечение материала при прессовании меди на прессе с шероховатым контейнером ($D = 170$ мм; $d = 50$ мм; $L = 750$ мм)

и условия, при которых процессы истечения при прессовании в горячем состоянии латуни приближались бы к данным лабораторных опытов при холодном прессовании.

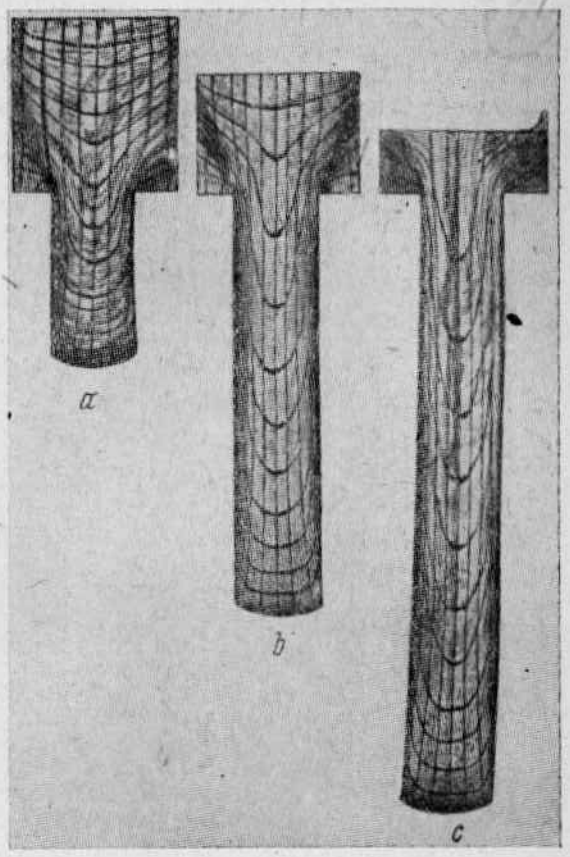
Уже работы с медью даже при шероховатой поверхности контейнера показали, что гомогенная медь (фиг. 38) дает гораздо более равномерную деформацию различных частей слитка и картину истечения, более близкую к истечению пластических масс и олова при лабораторных опытах, чем гетерогенная латунь Л-58 [1]. Сильное торможение по стенкам контейнера при горячем прессовании поверхностной зоны латунного слитка (фиг. 37) показывает, что причиной различия истечения при холодной и горячей обработках является, кроме неравномерной температуры, создающей неодинаковую пластич-

[1] В. В. Жолобов, Исследование условий получения медных труб прессовкой с точки зрения качества изделий, «Металлург» № 4, 1934, стр. 82—88.

ность и подвижность частиц слитка по поперечному его сечению, также и более высокое трение между слитком и контейнером.

Для проверки этого вывода прессованию в горячем состоянии был подвергнут медный слиток с шестиугольным поперечным сечением, так как можно было предполагать, что в данном случае тесное соприкосновение между слитком и контейнером, сопровождаемое сильным трением, установится лишь постепенно в течение процесса прессования. Результат этого опыта оказался несколько даже неожиданным, так как получилась картина, почти тождественная с результатами лабораторных в холодном состоянии опытов над оловом и свинцом. Это несомненно убеждает нас еще раз в том, что одной из основных причин указанной разницы в истечении является трение слитка о стенки контейнера (коэфициент трения меди и латуни см. в табл. 11, 12 и 13).

Тогда был испробован обратный путь, а именно, было проведено несколько лабораторных опытов прессования олова в холодном состоянии, причем для увеличения трения между слитком и контейнером вместо обычного отполированного контейнера был применен шерховатый (грубо обточенный). Оказалось, что при этих условиях (фиг. 39) процесс истечения олова получился уже не такой, как на фиг. 19, а совершенно подобный фиг. 38 для медного слитка, прессованного в горячем состоянии.



Фиг. 39. Истечение олова при прессовании в холодном состоянии из шероховатого контейнера (диаметр образца 22 мм, длина 30 мм, диаметр прутка 11 мм)

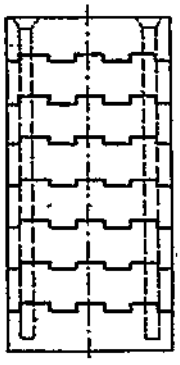
Таким образом было установлено, что различия в картине истечения при прессовании металлов в холодном состоянии по сравнению с горячим объясняются также различной величиной сил трения в этих случаях слитка о стенки контейнера. Это различие при горячем прессовании металлов и сплавов по сравнению с холодным прессованием усугубляется еще, как об этом говорилось выше, влиянием различной температуры, а отсюда различной текучестью поверхностных, более холодных, и внутренних, более горячих, слоев слитка. У латуни это последнее влияние проявляется особенно резко, так как вследствие выгорания цинка в наружной зоне слитка более богатые медью наружные слои в контейнере быстрее охлаждаются, имеют температуру более низкую, а потому менее пластичны, чем внутренние. Все это и ведет к совершенно иной картине истечения латуни по сравнению с другими металлами и сплавами, в особенности при необогреваемом контейнере. Чем выше температура контейнера и менее разница между температурой слитка и контейнера и меньше коэфицинет трения, тем это различие все более и более сглаживается: объем V_1 соответственно увеличивается, осаживание наружных слоев по стенке контейнера при прессовании уменьшается, обратное течение

этих слоев по конусу объема $V_з$ не создается. Слои слитка движутся все более и более параллельно почти до матрицы (как мы видели у меди на фиг. 38). Все течение получает более спокойный характер, приближающийся к течению меди и других металлов и более однородных сплавов, т. е. становится более спокойным, более похожим на течение пластических масс, а это позволяет в данном случае работать со значительно меньшим прессостатком.

Алюминий

Процесс при горячем прессовании материалов должен отличаться от описанного выше истечения пластических масс. Слитки в этом случае имеют твердость, неодинаковую во всех местах, в зависимости от возможного большего или меньшего охлаждения их матрицей, стенками контейнера и прессшайбой, а отсюда и различную подвижность частиц снаружи и внутри слитка. Степень этой неравномерности различна вследствие влияния еще и ряда других факторов: различного трения металла о стенки контейнера, матрицы и шайбы, внутреннего трения и т. п.

Чтобы изучить этот вопрос, заметить при прессовании круглых прутков различные точки и по ним установить линии истечения, слитки были сделаны из алюминиевых шайб, соединенных между собой с помощью пазов и заклепок (фиг. 40). Между двумя алюминиевыми шайбами толщиной 30 мм были помещены тонкие прокладки из сплава 99% Al + +1% Cu. Такие прокладки в горячем состоянии имеют почти одинаковую текучесть с алюминиевыми шайбами, но вместе с тем дают возможность посредством травления прекрасно увидеть передвижение их частиц при прессовании. Все шайбы и прокладки были соединены вместе длинными алюминиевыми заклепками диаметром 10 мм. После обжатия слитков на различную высоту процесс прессования останавливали, слитки вынимали из контейнера, разрезали, поверхности разреза полировали и травили в концентрированной соляной кислоте, благодаря чему содержащаяся в прокладочной шайбе медь получала черную окраску и была отлично видна на светлом фоне алюминия.



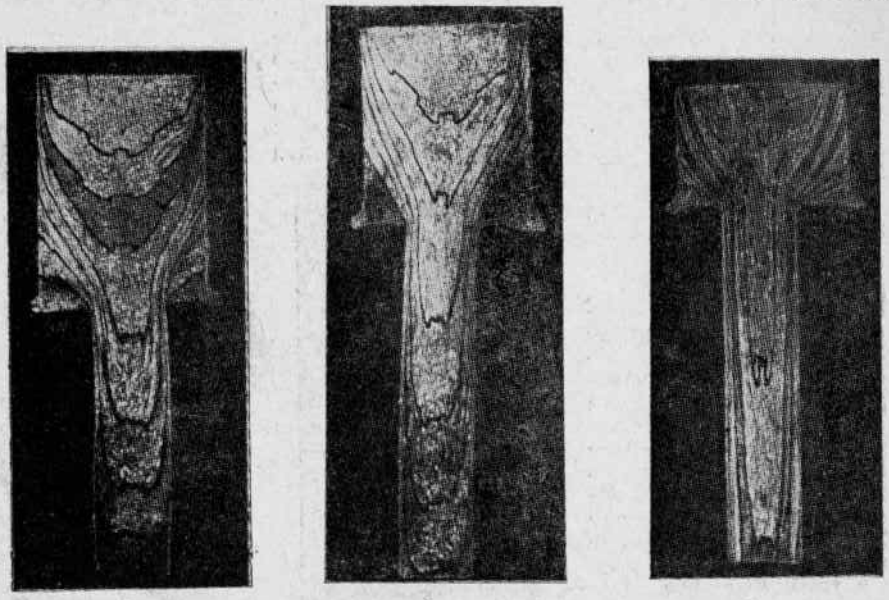
Фиг. 40. Составной слиток из алюминиевых дисков толщиной 30 мм и специального сплава (99% Al + 1% Cu) прокладок, соединенных с помощью алюминиевых заклепок и концентрических уступов

Как показывает фиг. 41, истечение алюминия при горячем прессовании значительно отличается от истечения как латуни, так и пластических масс. По форме прокладок видно, что зона деформации здесь не ограничивается областями, лежащими непосредственно у матрицы, что наблюдалось при прессовании пластических масс, а охватывает всю толщу металла от матрицы до прессшайбы. Прокладки теперь уже не идут горизонтальными рядами, а приняли более или менее конусообразную форму. Это объясняется наличием трения металла о стенки контейнера, а также и тем, что наружная, более холодная и потому твердая часть слитка не может течь к матрице с такой же легкостью, как ее ядро. Она отстает, складывается по стенкам контейнера, а средняя, более горячая, часть, как это видно по глубоким воронкам, образуемым прокладками, уходит далеко вперед.

На фиг. 41, *а* видно, что в начале процесса в углах между цилиндрической поверхностью и дном контейнера у матрицы, а также вблизи прессшайбы формоизменения незначительны, причем образования объема $V_з$ совершенно не замечается. Наибольшее изменение происходит в областях, находящихся в средней части слитка.

Передняя часть прутка деформирована совершенно незначительно. Середина прутка такая же, как и при истечении пластической массы; в прутке наблюдаются такие же, как отмечено выше, воронкообразные линии.

Фиг. 41, *b* показывает более позднюю ступень прессования. В верхней части слитка формоизменения также небольшие, и малоподвижным остается материал в углах цилиндра, хотя объем материала здесь заметно стал меньше. Здесь в конусообразных местах находятся сжатые и сдвинутые к концу цилиндра частицы наружной поверхности слитка, вытянутые в волосные линии промежуточ-



a *b* *c*

Фиг. 41. Разрез алюминиевого слитка диаметром 110 мм при прессовании на пруток диаметром 50 мм:
a — в начале прессования; *b* — в дальнейшей стадии прессования; *c* — еще в более далекой стадии прессования

ные шайбы. В прутке наружные слои подвергались наибольшему формоизменению при сдвиге их от периферии к оси слитка, в то время как частицы, лежащие по оси слитка и прутка, двигались почти свободно по прямым линиям.

Более дальняя ступень прессования показана на фиг. 41, *c*. Средняя часть слитка уже вытекла, в то время как поверхностные слои слитка еще находятся в цилиндре. Объем металла в углах контейнера у матрицы стал еще меньше: постепенно происходит истечение и из этих участков.

Для изучения явлений истечения при прессовании труб слитки были приготовлены, как указано на фиг. 40. Результаты показаны на фиг. 42, *a* и *b*.

Слитки имели диаметр 180 мм и состояли из девяти алюминиевых шайб толщиной 20 мм и восьми тонких шайб того же сплава, как и у слитка на фиг. 40, т. е. из 99% Al + 1% Cu. Шайбы и прокладки были соединены между собой четырьмя длинными заклепками и уступами. Опыты производились на прессе, у которого игла и пуансон были связаны неразрывно и двигались одновременно, причем до прессования в слитке иглой прошивали дыру. Труба имела наружный диаметр 75 и внутренний 42 мм.

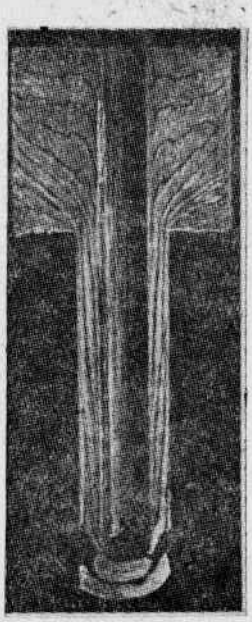
Выпрессованный конец — путец — виден у нижней части трубы на фиг. 42. Этот путец состоит из передней части слитка, в которой все слои идут в таком же порядке, как и в слитке, и мало деформирован. Стенки трубы сильно формоизменились при прохождении через очко матрицы. Толщина всех слоев прошедшей через матрицу трубы незначительна.

О поведении частиц материала в углах у матрицы, а также холодной наружной поверхности его остается в силе сказанное выше о прессовании прутков.

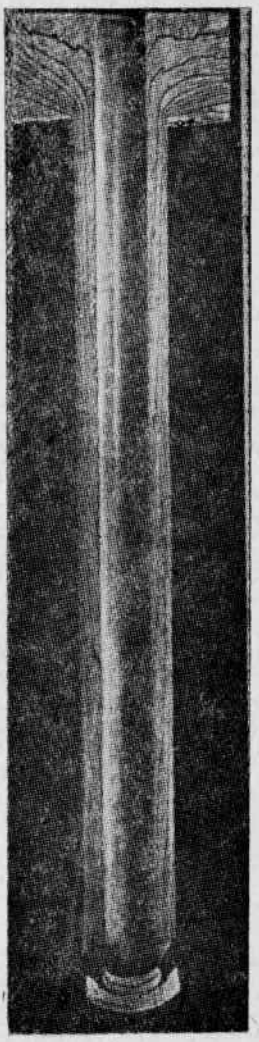
Как показывает сравнение фиг. 42 и 41, при прессовании труб слои в слитке идут только более параллельно, они менее вытянуты в продольном направлении, что объясняется, конечно, наличием здесь торможения по оси слитка вследствие трения между внутренней поверхностью прессуемой трубы и иглой.

Для изучения явлений, происходящих при прессовании плоских полос, были приготовлены слитки диаметром 105 мм, составленные согласно фиг. 40, и отпрессованы на плоские полосы размером 70×15 мм. Эти слитки так укладывали в цилиндре, чтобы продольное сечение было совершенно симметрично относительно отверстия в матрице и не проходило через алюминиевые заклепки, связывающие слиток. Отпрессованные слитки разрезали по длине и параллельно широкой стороне полосы; после этого одну из этих половинок разрезали на две части — параллельно узкой стороне.

Изучение полученных разрезов показывает, что при прямоугольных сечениях полосы явление истечения более сложно, так как вдали от матрицы линии истечения идут по образующим цилиндрических поверхностей, в то время как в полосе они должны вместиться в прямоугольное сечение. Вследствие этого внутри слитка развивается поперечное сложное перемещение частиц, чего не было при указанных выше опытах с прессованием круглых прутков и труб. Фиг. 43,*a* показывает среднее сечение полосы параллельно широкой стороне; фиг. 43, *b* — такое же сечение параллельно узкой стороне, и фиг. 43,*c* и *d* дают такие же разрезы при дальнейшей ступени прессования. Резрез на фиг. 43,*a* подобен таковому же на фиг. 41,*a* — истечения через круглое отверстие. В передней части прутка наблюдается такое же незначительное формоизменение, как и при прессовании пластических масс, а также прутков и труб.



a



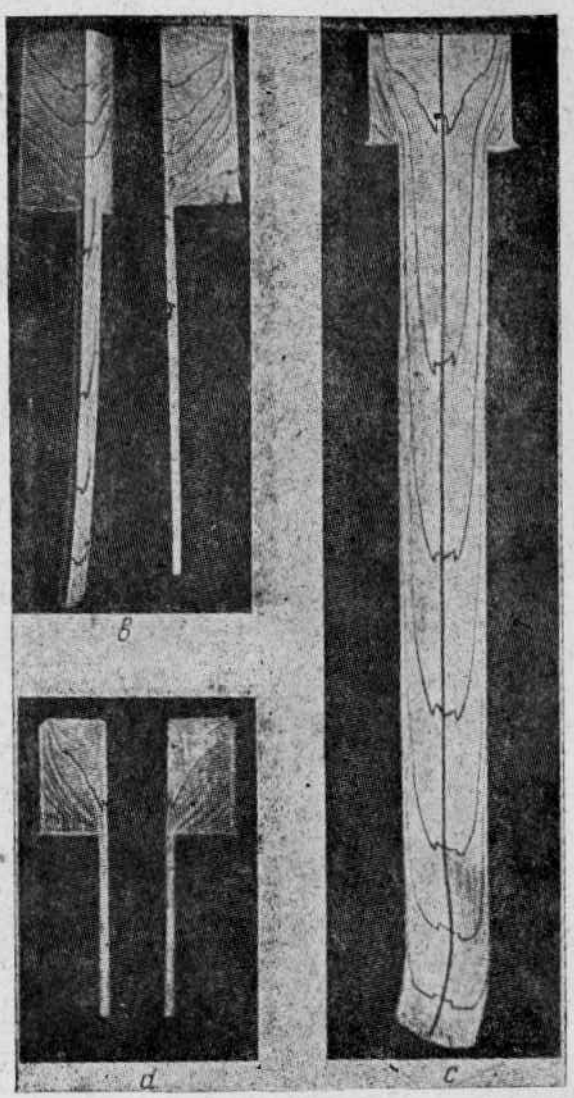
в

Фиг. 42. Разрез алюминиевого слитка диаметром 180 мм, прессуемого на трубу 42 × 75 мм: *a* — в начале процесса; *b* — в дальнейшей стадии прессования

Электрон

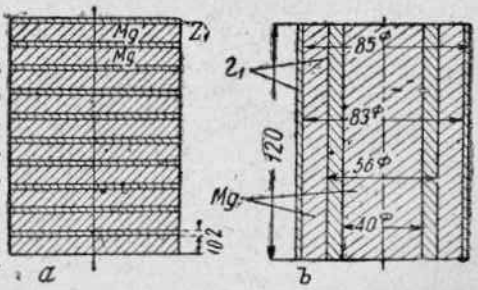
Большой интерес представляют работы по изучению явлений, происходящих при прессовании электрона.

Для проведения опыта были приготовлены специальные слитки (фиг. 44,*a* и *b*), собранные из шайб, сделанных из чистого магния и из сплава Z_1, в котором около 95% Mg и 5% Zn. При травлении в соляной кислоте сплав, содержащий цинк, получает темную окраску, в то время как чистый магний остается неокрашенным. Таким образом можно хорошо проследить картину истечения. Фиг. 45 подтверждает наличие явлений, установленных исследованиями в отношении алюминия. Резкого движения объема V_3 в начале процесса не отмечается. Наружные части слитка осаживаются у матрицы по стенкам контейнера в углы, образуя малоподвижные зоны. Материал слоев, находящихся глубже в слитке, течет в матрицу с возрастающей скоростью к центру слитка, так что внутренняя часть прутка как бы покрывается слоем другого металла. К концу процесса на прессшайбе образуется, как и при прессовании латуни, ясно выраженный объем V_3. В особенности это хорошо видно на фиг. 45,*b*.



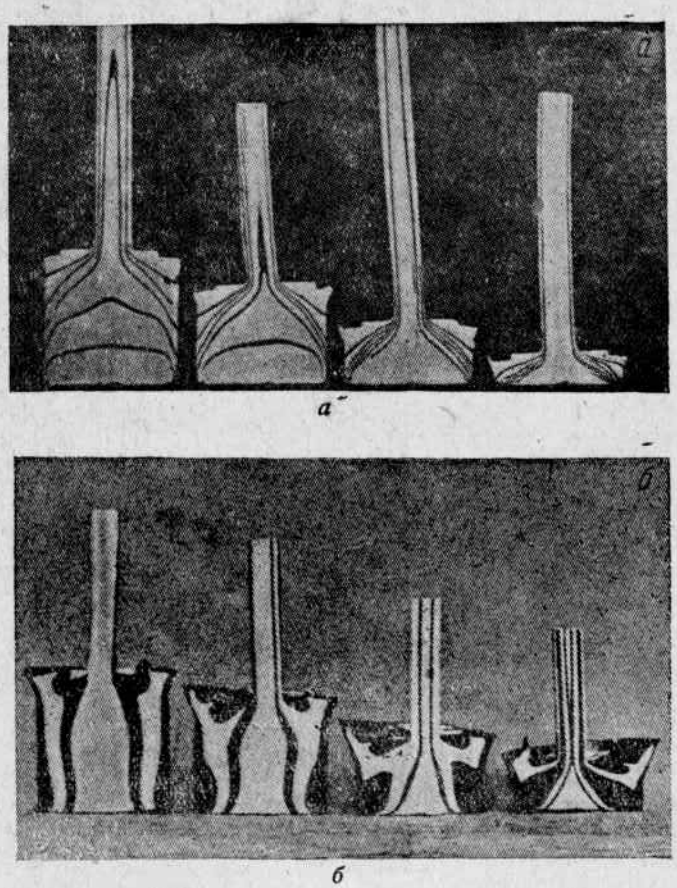
Фиг. 43. Разрез остатка слитка диаметром 110 мм и плоского прутка 70 × 15 мм: *a* — в начале прессования, разрез по широкой стороне; *b* — в начале прессования, разрез по узкой стороне; *c* — в дальнейшей стадии прессования, разрез вдоль по широкой стороне; *d* — в дальнейшей стадии прессования, разрез вдоль по узкой стороне

Так же как и при прессовании алюминия, в конце процесса прессования резко выраженного обратного течения материала не наблюдается. Причина этого заключается в том, что алюминий, электрон, медь и некоторые другие металлы и их сплавы представляют собой более гомогенную структуру и более равномерный по качествам сплав даже при различной температуре наружных и внутренних частей слитка, чем латунь. Кроме того, нами было отмечено, что работа с латунью производилась без подогрева контейнера, что делало еще более резкой картину ее истечения. При прессовании же алюминия и электрона на прессе с подогреваемым контейнером температура нагрева слитка и контейнера была почти одинакова. Отсюда также возможность в этом случае работать с очень небольшим прессостатком (менее 15%).



Фиг. 44. Составной слиток из магния и сплава Z_1:
a — из дисков; *b* — из труб

Для изучения вопроса о влиянии формы прессшайбы со слитками из электрона был проделан ряд опытов по прессованию с различными шайбами: конусообразной, плоской и со впадиной. Результаты этих опытов представлены на фиг. 45, 46 и 47. Как видим на этих фигурах (в особенности на фиг. 46, *b*), выпуклая прессшайба способствует особо энергичному истечению ядра слитка, а также объема V_3, задерживая в то же время истечение объема V_2.



а

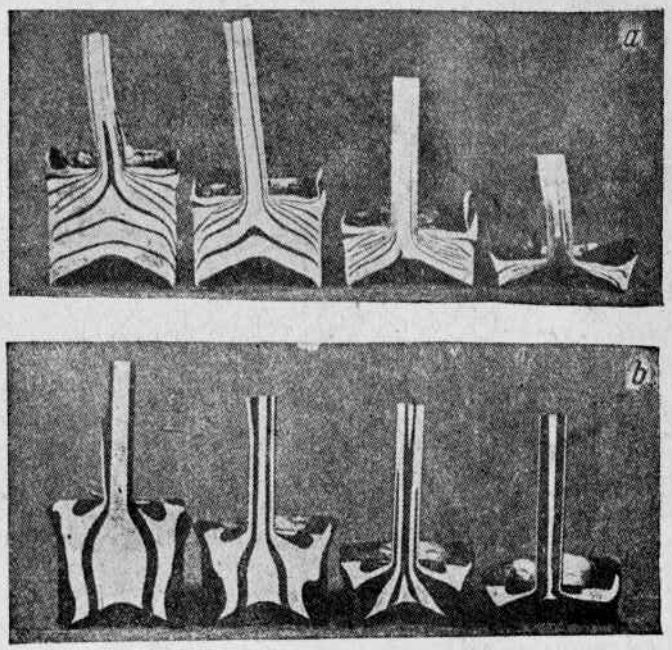
б

Фиг. 45. Прессование с плоской прессшайбой

В последней части операции прессования ядро слитка и даже объем V_3 от прессшайбы вытекли в пруток, и материал для него далее доставляется исключительно загрязненной частью с поверхности слитка. Наоборот, шайба со впадиной (фиг. 47) способствует задержанию в остатке объема V_3, но при этом задерживается также и часть V_2 и даже V_1, и таким образом при шайбе этой формы сильно увеличивается количество отходов. Эти опыты с прессшайбами различной формы приводят к выводу, что обычно применяемая плоская шайба дает достаточно хорошие результаты и в отношении выхода годного, и качества получаемого изделия, а равно позволяют сделать вывод, при какой форме прессшайбы возможно достигнуть большей стойкости игл.

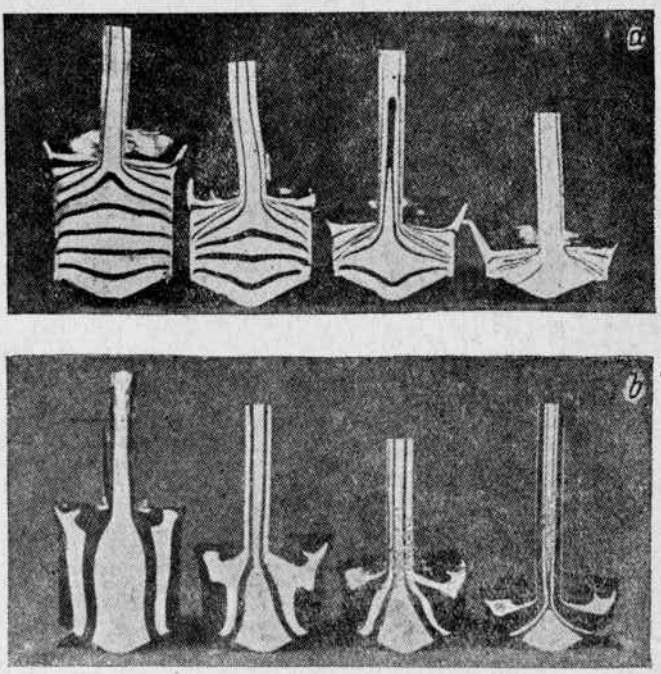
Последние работают при высоком нагреве, вследствие чего они под влиянием более или менее сильных (см. фиг. 23, 29 и 30) пережимающих и вытягивающих напряжений (вследствие наличия большой силы трения прессуемого металла) вытягиваются, часто даже

обрываются (см. фиг. 222). Все это заставляет применять для игл особо жароупорные специальные, легированные и дорогие стали (стоимость игл поэтому ложится всегда большим накладным расходом на себестоимость труб, в особенности при небольших диаметрах) и останавливаться на бо́льших размерах и большей толщине стенок, чем можно было бы получить с данного пресса, и следовательно, иметь лишние протяжки в холодном состоянии, т. е. увеличивать более дорогую обработку.



Фиг. 46. Прессование с выпуклой конической прессшайбой

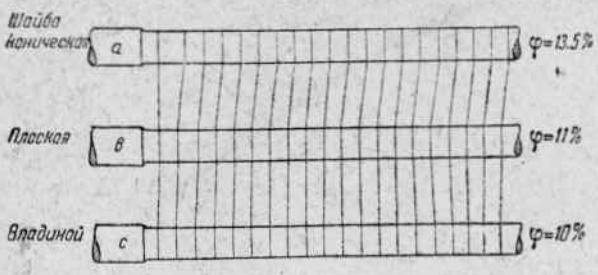
Поэтому крайне важно знать, какого вида прессшайбы являются наиболее благоприятными, т. е. дают, не ухудшая качества изделий, наименьшую вытяжку игл, а отсюда и вероятность наиболее редких их обрывов.



Фиг. 47. Прессование с вогнутой прессшайбой

Для решения этого вопроса приготовили железные иглы, которые были закернены через 10 мм. Фиг. 48 показывает результаты опыта. Игла, которую употребляли при шайбе со впадиной, получила удлинение (фиг. 48, нижняя) на 10%, при плоской (средняя) на 11% и при конической (верхняя) на 13,5%. Таким образом шайба со впадиной дает наименьшую вытяжку иглы. Это особенно заметно, если мы обратим внимание на удлинение первых четырех делений, начиная от прессшайбы: удлинение этой части показало величину в 15% при шайбах со впадиной и 20% при плоской.

Из проведенных опытов можно сделать заключение, что при



Фиг. 48. Влияние формы прессшайбы на удлинение иглы диаметром 20 мм и длиной 200 мм при прессовании труб:

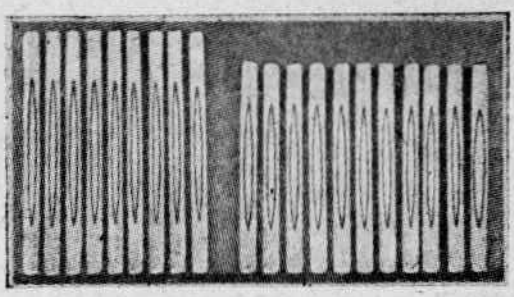
a — при шайбе выпуклой; *b* — при шайбе плоской; с — при шайбе вогнутой

шайбе со впадиной игла должна служить более продолжительное время. Так как, однако, изготовить ее более затруднительно, а разница при применении конической и плоской прессшайбы незначительна, то на практике обычно и работают с плоской прессшайбой.

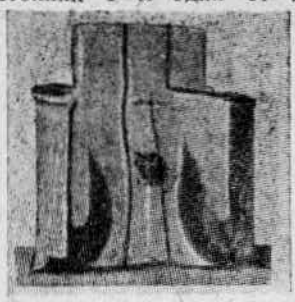
Заслуживают внимания проведенные опыты с прессованием плоских тонких полос.

Слитки для этого были также составлены из труб, причем середина и наружная поверхность состояли из чистого магния, а между ними прослойка из сплава Z_1. — Полосы прессовались сечением 150 × 10 и 130 × 10 мм. Фиг. 49 представляет передний конец прутка, а фиг. 50 — поперечные разрезы этих прутков, сделанные на расстоянии 1 м один от другого: первые из девяти полос сечением 150 × 10 мм и вторые из одиннадцати полос сечением 130 × 10 мм.

Фиг. 49. Передний конец плоского прутка, прессуемого из составного слитка



Фиг. 50. Поперечные разрезы плоских прутков 150 × 10 и 130 × 10 мм, сделанные на расстоянии 1 м один от другого

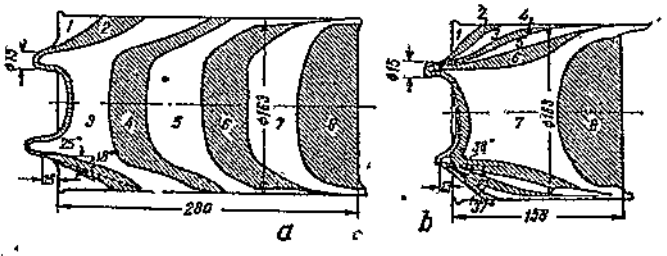


Фиг. 51. Остаток слитка, соответствующего фиг. 49. 50

Из них вытекает, что прослойка Z_1 слитка в сечениях полосы (фиг. 50) занимает по всей длине совершенно одинаковое место и размер, причем полосы 150×10 мм даже не обнаруживают на узких сторонах никаких следов усадочной раковины или других дефектов. Остаток этого слитка представлен на фиг. 51. На ней видно, что наружная поверхность слитка прессуется по стенкам цилиндра приблизительно так же, как и при прессовании круглых прутков, но остаток имеет значительно бо́льшую длину, чем в первом случае.

В результате проведенных опытов можно сделать вывод, что величина остатка зависит от сечения и формы прессуемого прутка или профиля.

Чтобы закончить ознакомление с наиболее интересными работами иностранных исследователей по изучению истечения металла при прессовании по прямому методу, следует указать еще на работу Х. Бернгефта, который дал картину истечения при прессовании прутков не только в одно, но и в несколько очков одновременно. На фиг. 52 показано прессование слитка диаметром 150 и длиной 340 мм на два прутка диаметром по 15 мм.



Фиг. 52. Прессование слитка через два очка: *a* — слиток диаметром 150 мм и длиной 340 мм, обжатый на 60 мм при прессовании на два прутка диаметром по 15 мм; *b* — тот же слиток в дальнейшей стадии прессования

Приведенные работы подтверждают полностью нарисованную выше на основе теоретических соображений картину истечения металла из контейнера при прямом методе прессования и влияние на нее различных факторов.

Висмут, свинец и др.

В 1931 г. Пирсоном и Смитом [1] на годичном собрании Института металлов была доложена работа на тему «Влияние давления и температуры на прессование металлов», в которой было показано влияние температуры, скорости, смазки контейнера и других факторов на истечение металла и качество изделия при прессовании по прямому и обращенному методам.

Явления истечения изучали с несколькими металлами: свинцом, кадмием, висмутом и оловом. Результаты получались всегда идентичные. Основным материалом при проведении этих опытов был взят висмут, который прекрасно прессуется при разных, сравнительно невысоких температурах нагрева (от 30 до 250°), легко режется и дает превосходные снимки макроструктуры, вполне иллюстрирующие характер истечения металла при прессовании.

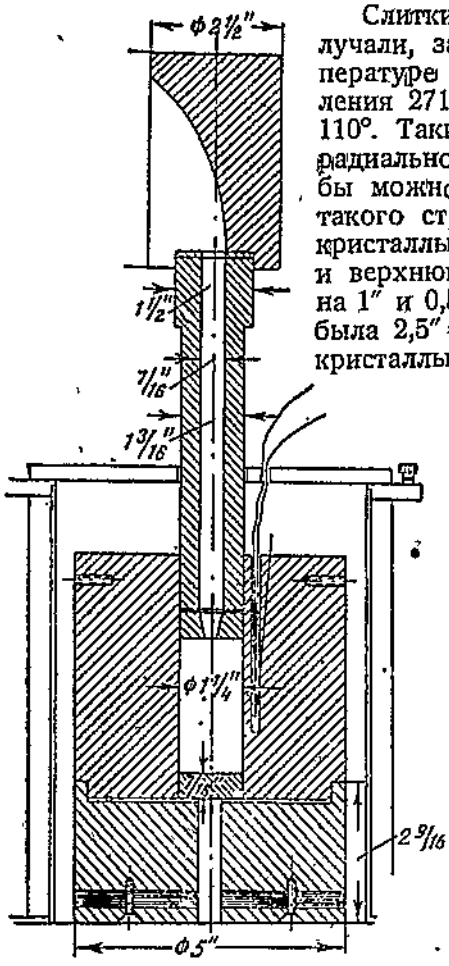
Еще ранее было известно, что висмут, вопреки установившемуся на него взгляду как на металл хрупкий, при определенных температурах и условиях объемного состояния может быть выдавлен в форме тонких стержней, которые возможно завязывать в узел. В порядке пластичности металлов, определяемой выдавливанием, Таммани поместил висмут между кадмием и оловом, что подтверждают своей работой Пирсон и Смит.

Аппаратом для испытания служил специальной конструкции вертикальный лабораторный прибор, изображенный на фиг. 53, позволявший работать прямым и обращенным методами.

На фигуре он показан оборудованным для работы обращенным методом с выходом прессуемого прутка вверх. Для работы по прямому методу полый пу-

[1] Эта работа изложена в несколько сокращенном виде в статье «The Influence of Pressure and Temperature on the Extrusion of Metals» (The Metal Industry, 1931, 20 March, p. 311—314; 27 March, p. 339—342; 3 April, p. 361—362; 10 April, p. 383—384) и подробно в статье с таким же заголовком, напечатанной со всей дискуссией, бывшей на этом собрании и вызванной докладами — перепиской, в журнале этого Института The Journal of the Institute of Metals, за 1931 г., № 1, том XIV, стр. 345—381.

ансон заменяется сплошным, матрица устанавливается вместо прессшайбы, выдавливаемый пруток при прессовании будет выходить вниз. Для уменьшения охлаждения контейнер (Ni + Cr-стали) пресса установлен на двойной асбестовой подкладке и может нагреваться особым электросопротивлением до температуры 350°. Температуру слитка и контейнера измеряли с помощью вводимой в них термопары; она изменялась во время процесса не больше ±1°. Необходимое для прессования давление обеспечивалось 110-т испытательной машиной Авери и точно регистрировалось, так же как и скорость истечения металла. Прибор был так сконструирован, что показывал скорость 100 единиц, отвечающую выдавливанию слитка длиной 2,5″ = 63,5 мм в течение 25 мин. При изучении влияния скорости на процесс прессования скорости свыше 250 единиц, т. е. превышающие указанную выше в 2½ раза, не изучались, так как при такой скорости происходило повышение температуры прутка вследствие трения его о матрицу и, таким образом, нарушались условия опыта.



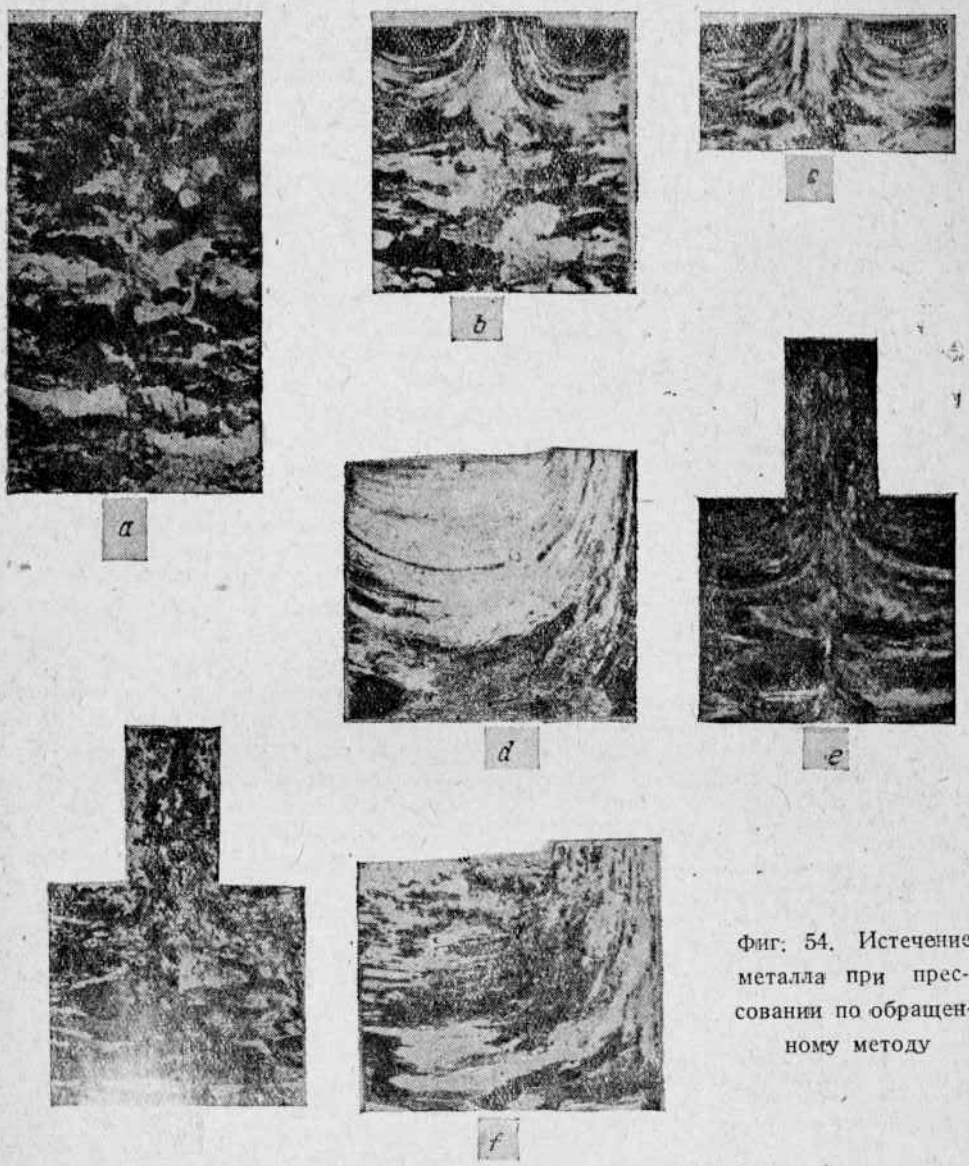
Фиг. 53. Схема прибора для прессования по прямому и обращенному методам

Слитки имели длину 4,0″ = 101,6 мм; их получали, заливая расплавленный металл при температуре для висмута 310° (температура плавления 271°) прямо в контейнер, подогретый до 110°. Таким образом были получены слитки с радиально расположенными кристаллами. Чтобы можно было работать со слитком только такого строения, т. е. со слитком, в котором кристаллы расположены радиально, нижнюю и верхнюю его части отрезали соответственно на 1″ и 0,5″, так что длина испытуемого слитка была 2,5″ = 63,5 мм, и полностью удалялись кристаллы, образовавшиеся под прямым углом к прессшайбе. При изучении явлений истечения в процессе прессования по прямому методу указанной длины слитки висмута диаметром 1¼″ = 31,7 мм продавливали через матрицу с отверстиями 10 и 6,5 мм. Остатки в разных стадиях прессования вынимали из контейнера, разрезали, полировали и травили раствором азотной кислоты (удельный вес 1,1).

Полученные при этом снимки макроструктуры полностью подтверждают сделанные ранее выводы на основе работ с алюминием, электроном и медью о движении частиц слитка, почему здесь и не приводятся.

Было установлено, что скорости истечения при прямом методе прессования постепенно возрастают от минимума при начале процесса до некоторого максимума к концу прессования и в самом конце прессования быстро падают. При этом было отмечено, что чем длиннее слиток, тем ниже первоначальная скорость истечения. Эта скорость всегда значительно ниже скорости, получаемой при прессовании по обращенному методу, которой она достигает лишь к концу процесса, когда длина слитка становится меньше, а следовательно меньше энергии расходуется на внутреннее передвижение частиц металла и трение, а большая величина развиваемого прессом давления достигает матрицы. Из сказанного понятно, что короткий слиток при одном и том же давлении на прессшайбу всегда будет прессоваться с большей скоростью, чем длинный. Для получения одинаковой скорости истечения при прессовании висмута экспериментаторам приходилось при прямом методе к концу операции уменьшать давление до 40% против первоначального.

Результаты изучения явления истечения при прессовании обращенным методом показаны на фиг. 54. Рассматривая ее, видим, что при этом методе зона деформации металла обнимает только незначительную его часть, прилегающую к матрице, дальше абсолютно никакому формоизменению металл не подвергается, т. е. картина истечения подобна той, какая бывает при прессовании пластических масс по прямому методу.



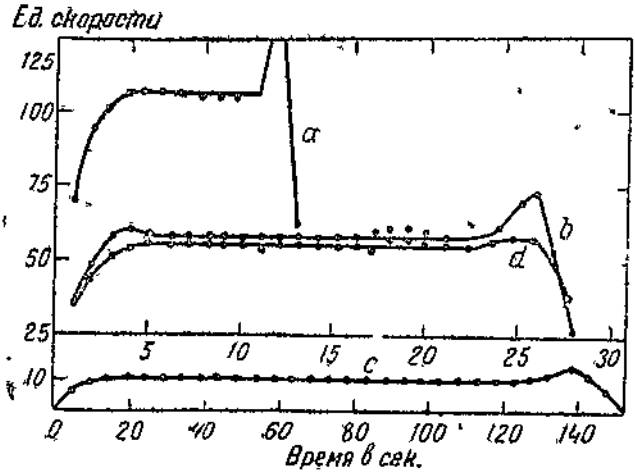
Фиг. 54. Истечение металла при прессовании по обращенному методу

a — остаток висмутового слитка, выдавленного при 17° на 12%; *b* — то же, на 51%; *c* — то же, на 75%; *d* — часть деформированной зоны остатка слитка висмута, выдавленного при 17° на 27%; *e* — остаток слитка, выдавленного при 170° на 56%; *f* — то же, но увеличенный в пять раз; *k* — то же, при 220° на 58%

Процесс прессования по обращенному методу делится на три периода: первый—короткий—заключается в образовании прилегающей к матрице зоны деформации; второй — продолжительный — охватывает прохождение этой зоны вдоль заготовки и третий начинается, когда деформированная зона дошла до основания слитка.

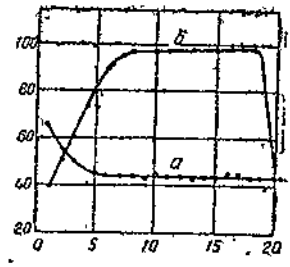
В последней стадии прессования, если поверхность шайбы отполирована, истечение происходит легко по ее поверхности от периферии к центру и может давать такой же дефект, как и при прямом методе (фиг. 58). Если же она шероховатая, то никакого заметного течения металла по шайбе не наблюдается. Интересно отметить, что скорость течения никакого влияния на тип его не оказывает. Влияние температуры на истечение также очень слабо, как это можно видеть из сравнения фиг. 54, *b*, *e* и *k*, относящихся к прессованию висмута при температурах 17, 170 и 220°.

Зависимость между давлением и скоростью прессования изучалась при работах со свинцом и висмутом, причем изменение скорости наблюдалось во время процесса при различных постоянных давлениях и температуре. При работе со свинцом оказалось, что при том или ином постоянном давлении скорость прессования быстро достигает некоторой величины, а затем, когда остаток в контейнере доходит, примерно, до 10% начальной длины слитка при полированной шайбе контейнера, скорость несколько, как это видно на диаграмме фиг. 55, возрастает, после чего быстро падает до нуля. При применении шероховатой шайбы скорость в конце почти не повышается. Прессование никогда не удается провести с нулевым остатком в контейнере. Кривые *a*, *b*, *c* относятся к опытам с применением отполированной прессшайбы, а кривая *d*, наоборот, — к шероховатой, зачищенной наждачной бумагой. В последнем случае перед концом прессования имеется совершенно незначительное увеличение скорости, которое наблюдается также и при небольших давлениях, примерно 866,14 кг/см². С повышением давления отмеченное увеличение скорости прессования перед концом процесса значительно возрастает (ср. кривую *a* для 1181,1 кг/см² с диаграммой *b* для 1102,36 кг/см²).



Фиг. 55. Изменение скорости при обращенном методе прессования свинца

При прессовании висмута по обращенному методу (фиг. 56, линия *a*) скорость быстро возрастает до некоторого максимума, но не остается во время процесса истечения постоянной, как у свинца, а наоборот, падает до определенной величины и затем остается постоянной до конца процесса.



Фиг. 56. Изменение скорости при обращенном методе прессования:
a — висмут; *b* — смола

Оказалось, что таким же свойством, как и висмут, обладают и олово и кадмий. Объясняется это уплотнением металла до начала его течения через отверстие в матрице, так как твердость слитка висмута по Бринелю в недеформированной его части у основания была равна 8,5, а у входа в отверстие матрицы, где деформация является наибольшей, доходила до 12,5 кг/мм². Микроскопическое исследование металла вблизи матрицы показало его рекристаллизованным, причем кристаллы были чрезвычайно мелкими. Это отмечалось даже при прессовании этих металлов при температурах, очень близких к точкам их плавления.

Таким образом свинец выделился, представляя в этом отношении полную аналогию с истечением таких пластических тел, как смола (фиг. 56, линия *b*).

Такое же изменение скорости, как у свинца, имеют все прессуемые в горячем состоянии по обращенному методу металлы и их сплавы.

Интересный опыт был проведен для изучения влияния внешнего трения при прессовании по прямому методу. Выше было указано, что при выдавливании пластической массы отставания вдоль стенок цилиндра наружной поверхности слитка не наблюдается. Все сечения слитка остаются параллельными, деформация сосредоточивается только вблизи матрицы. Было отмечено, что это объясняется однородностью качества по поперечному сечению слитка вследствие отсутствия влияния охлаждения от стенок контейнера наружных зон слитка и наличием незначительного трения между слитком и стенками цилиндра; наоборот, при прессовании металлов в горячем состоянии коэфициент трения имеет очень большое значение. Это соображение навело экспериментаторов на мысль изучить, как изменяется картина истечения при прессовании по прямому методу при применении надлежащей смазки контейнера. Оказалось, что если висмутовый слиток смазать жиром, то давление, необходимое для выдавливания металла с данной скоростью, требуется такое же, как и при обращенном методе прессования, и значительно меньше, чем при несмазанных слитках, а также что картина истечения получается, как видно на фиг. 57, такой же, как и при обращенном методе. Это очень интересный момент, показывающий, что если бы удалось найти смазку, не теряющую свою действенность при высоких температурах (для меди 760—820°, для латуни 63/37—720—770°, для алюминия 450—480°, для дуалюмина 430—460° и т. д.), то и при прямом и при обращенном методах прессования получалась бы почти одинаковая картина истечения материала, несколько только изменяемая наличием разных температур, а следовательно, и текучести в наружных, более холодных, и внутренних, более горячих, зонах слитка.

Фиг. 57. Разрез висмутового слитка, выдавливаемого по прямому методу из смазанного контейнера

Выше было указано, что если прессовать при прямом методе слиток так, что в пруток будет попадать объем V_3, то изделие получится сначала неоднородным, так как возможно попадание внутрь прутка грязи и шлака из усадочной раковины и окисленной поверхности слитка, а затем и пустотелым. Этот вывод был затем подтвержден целым рядом работ, причем установлено, что такой дефект может быть получен при условии применения шлифованной прессшайбы, когда в пруток могут легче попадать загрязнения из основания слитка и усадочной раковины. Таким образом прессшайба точеная, нешлифованная более желательна.

Фиг. 58. Дефект при прессовании висмута по прямому методу, шайба полированная

Пирсон и Смит проверили этот вывод на специально загрязненных по наружной поверхности слитках, окрашенных яркой эмалевой краской, и нашли, что действительно этот дефект получается, если работать по прямому методу без рубашки, при наличии же последней все загрязнения остаются в ней. На фиг. 58 хорошо виден такой дефект, полученный при прессовании висмутового слитка без рубашки (на фотографии белыми линиями обрисован указанный дефект).

Очень часто при прессовании по прямому методу, в особенности свободных от свинца латуней, получается дефект, выражающийся в появлении в прутке круговых колец кристаллов с очень крупными размерами зерен. Такие же кольца показаны в разрезах на фиг. 59, *a*, *b*, *c* и *d* остатков слитков висмута, выдавленных прямым методом при температурах 16—70 и 130°.

Крупные кристаллы получаются в этих местах вследствие того, что количество деформаций здесь является критическим для роста зерен при соответствующих температурах.

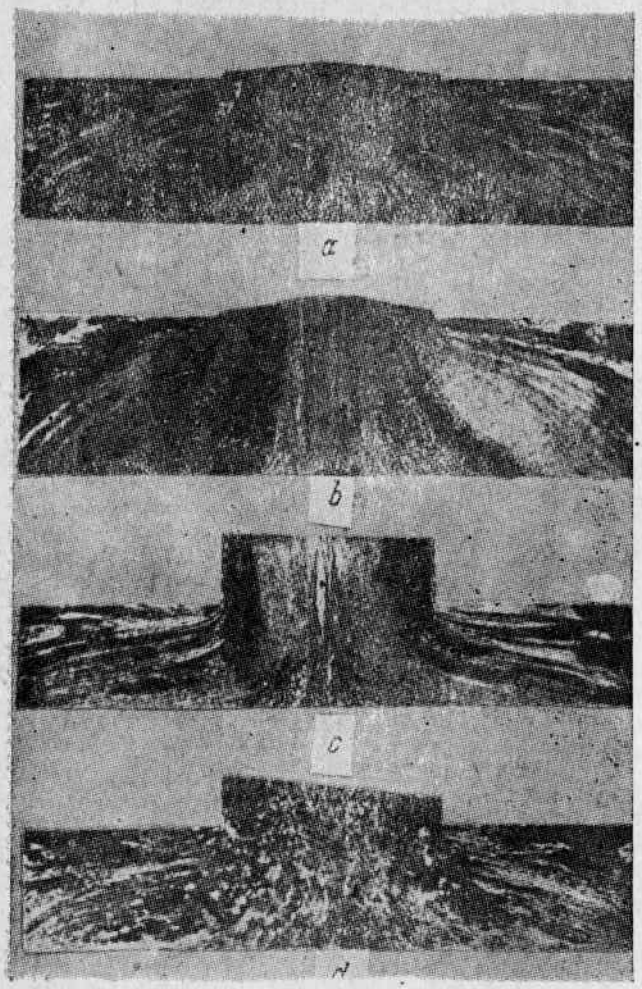
Фиг. 59, *a* и *b* показывает также различие в течении металла при шероховатой (фиг. 59, *a*) и гладкой полированной (фиг. 59, *b*) прессшайбе.

При работе обращенным методом загрязненность слитка на поверхности также может оказывать влияние на качество изделия. Однако здесь этот дефект поверхностный и получается только при работе почти с нулевым остатком слитка в контейнере. Собирающаяся в углах контейнера наружная поверхность слитка тогда может, действительно, попасть в пруток. Этого дефекта легко избегнуть, как показал Джендерс, применяя матрицу значительно меньшего диаметра относительно диаметра контейнера; тогда весь засор будет откладываться в остатке у стенок контейнера.

Фиг. 60 показывает еще один дефект, получающийся при прессовании обращенным методом с очень большой степенью деформации, а именно, трещины материала в углах контейнера.

Из этой работы можно сделать следующие выводы:

1. При обращенном методе прессования зона деформации ограничивается только областью, близкой к матрице, чем объясняется постоянная скорость истечения на большей части пути прессования.



Фиг. 59. Прессостатки висмутовых образцов с кольцами крупных кристаллов:
a — прессшайба шероховатая, температура прессования 16°; *b* — шайба полированная, температура 16°; **c** — шайба полированная, температура 70°; *d* — шайба полированная, температура 130°

2. Истечение металла при обращенном методе прессования устанавливается правильное, прямое с начала и до самого конца процесса.

3. Эта форма истечения обеспечивает получение при обращенном методе работы прутков с более однородным строением, чем при прямом.

4. При постоянной температуре для данного отверстия матрицы скорость истечения зависит только от давления и не изменяется в зависимости от длины слитка.

5. Скорость истечения и температура оказывают громадное влияние на качество изделия, почему прессование и при прямом и при обращенном методе надлежит вести при соответствующих условиях по отношению к этим факторам.

6. Смазывая контейнер, можно улучшить условия истечения при прямом методе и получить картину истечения, приближающуюся к картине истечения при обращенном методе.

7. Расход энергии при обращенном методе на 25—50% ниже расхода энергии при прямом методе прессования.

8. Загрязненности поверхности изделия можно при обращенном методе совершенно избегнуть, если работать хотя бы с тонкой рубашкой.

Практика прессования, однако, показывает, что поверхность изделий, прессуемых при обращенном методе, получается все же хуже, чем при прямом методе; кроме того, изделия при этом виде обработки

получают структуру более крупнозернистую, что не всегда допустимо. С другой стороны, при прямом методе, если процесс вести с небольшим прессостатком, всегда имеется риск получать пруток некачественный в середине сечения. Поэтому до недавнего еще времени гидравлические горизонтальные пресса строили двух систем: 1) для работы по прямому методу и 2) так называемой «комбинированной системы», позволяющей работать и прямым и обращенным методами. Первым методом на них прессовали трубы, профили, проволоку и прутки (последние большей частью для ответственных назначений), а вторым — профили, проволоку и прутки для неответственных назначений и в особенности прутки, идущие на изделия, подвергающиеся наружной обработке резанием. В последнее время пресса второго типа почти совершенно не строят, ввиду их большей сложности и стоимости, не оправдываемой практикой, так как подогрев контейнера и применение надлежащей его смазки дают результаты, не на много уступающие прессованию по обращенному методу.

Практика наших заводов в этом отношении не дала твердо установившихся взглядов, и до настоящего времени некоторые заводы предпочитают заготовку для кузнечных поковок получать обращенным методом. Считаем полезным остановиться на интересном предложении инж. А. Д. Серебрякова, которое, правда, не получило на практике применения, но может послужить исходным пунктом для новых работ, а равно на трех интересных работах наших инженеров, проведенных в заводских условиях, проверенных опытом и потому имеющих особую ценность, тем более что третья работа касается материала и изделий, имеющих сугубо важное значение для обороны нашей родины.

Фиг. 60. Разрез прессостатка висмутового образца с трещиной в углу контейнера; прессование по обращенному методу

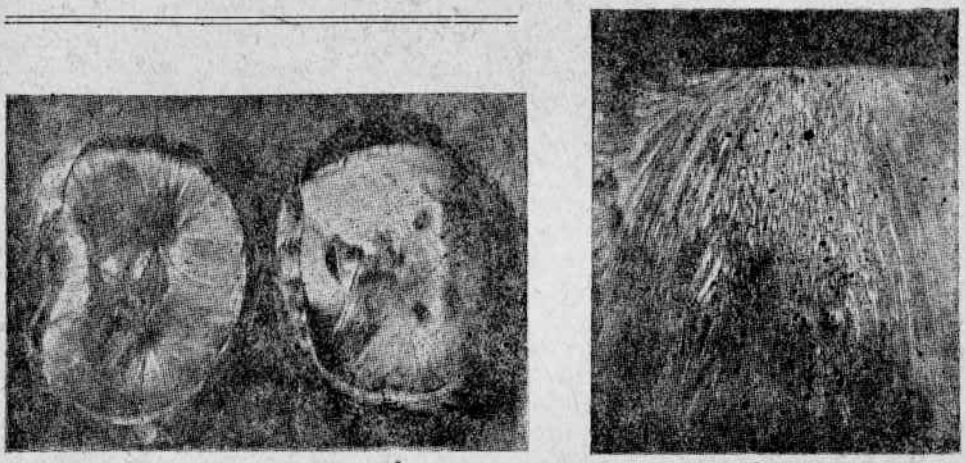
Первая работа была проведена в Государственном институте исследования цветных металлов (Гинцветмет).

Как известно, по оси слитка при отливке на некоторой его части получается бóльшая или меньшая пористость. Таким образом, в сущности, какой бы ни допускать остаток в контейнере, все же пруток в середине сечения получается с бóльшим или меньшим недостатком. А. Д. Серебряков предложил так конструировать матрицу с несколькими отверстиями по краям и одним в середине, чтобы в средний пруток вытекал этот недостаточно надежный материал, а в боковые шел материал исключительно доброкачественный, который мог бы гарантировать надлежащие высокие качества изделия для ответственных назначений [1].

На фиг. 61 показано истечение латуни Л-58 через матрицу в этих условиях. На фигуре видим прессостаток от шайбы (фиг. 61, *a* и *b*) и продольный разрез прессостатка (фиг. 61, *c*). Картина истечения при таком расположении отверстий в матрице получается довольно оригинальная. При таком расположении отверстий в матрице внутренняя, менее надежная, часть слитка может уходить в среднее очко, и, следовательно, внешние прутки можно получить более доброкачественными. Но добиться одновременного течения металла во все отвер-

[1] К сожалению, эта интересная работа, проведенная в заводских условиях, не напечатана Гинцветметом, и мы лишены возможности полностью ее использовать.

стия матрицы, для того чтобы дефектная часть слитка текла действительно в среднее очко, а все внешние прутки были доброкачественные, весьма и весьма трудно. Опыт наших заводов показывает, что той же цели можно добиться, располагая отверстия в матрице только по периферии, даже без отверстия в центре; тогда внутренняя пористая часть остается в прессостатке и на поверхности прутков.



a *b* *c*

Фиг. 61. Истечение материала при прессовании латуни Л-58 по прямому методу через четыре отверстия (три по краям в углах правильного треугольника и одно в середине):
a — вид от прессшайбы торца остатка слитка в контейнере при очень малой длине остатка; *b* — то же, при большей длине; *c* — продольный разрез остатка

На одном из наших заводов была проведена работа[1] по установлению минимального размера остатка слитка в контейнере при производстве медных прутков, служащих заготовкой для 300- и 600-т вертикальных прессов. Опыты были проведены на 1500-т прессе со слитками диаметром 170—175 мм и длиной 490—505 мм, которые нагревали до 850—870° и прессовали на прутки диаметром 69 мм с рубашкой и без рубашки.

Опыт показал, что при этих условиях работы и при прессовании с рубашкой возможно снизить процент отходов с 12 до 8, считая в том числе около 4,5% — остаток в контейнере и около 3,5% — рубашка, в среднем толщиной около 2 мм. Более снизить остаток нельзя, так как в пруток начнет течь окисленная наружная зона объема V_2 и объем V_3, как это хорошо видно на фиг. 62.

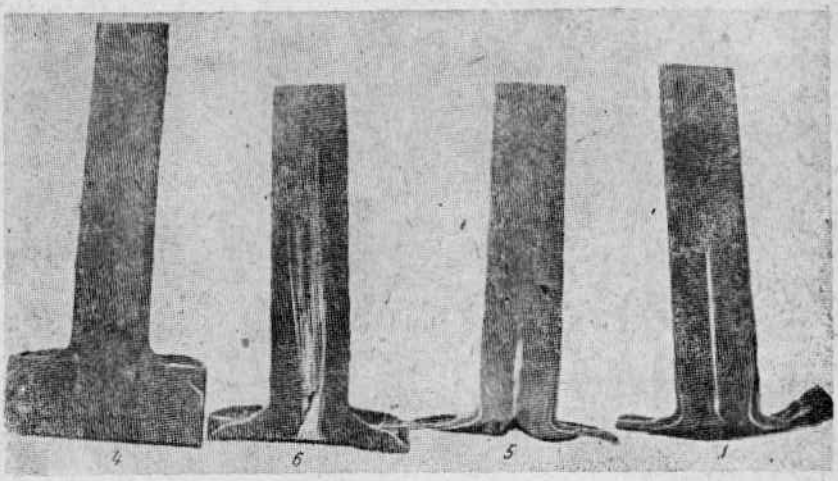
Интересно привести анализ этих включений в чистой меди. Оказывается, что в то время как исходная медь содержала 0,54% закиси меди, в средней зоне прутка включений закиси обнаружено уже 0,78% и в наружной 1,70%. Это подтверждает сказанное выше, что если процесс вести с очень малым прессостатком, когда в пруток течет уже объем V_3, то устанавливается обращенное течение наружной зоны слитка внутрь прутка.

Отсылая интересующихся к этой работе, здесь отметим только установленное ею с помощью координатной сетки течение металла. Сетка наносилась строжкой на одной стороне разрезанной по оси слитка половинки и набивалась графитом, а поверхности слитка густо смазывались смесью каолина и жидкого стекла. Течение материала происходило подобно показанному на фиг. 38, только еще более спокойно. Последнее, повидимому, объясняется применением надлежащего качества смазки, а также и тем, что контейнер и слитки были хорошо

[1] В. В. Жолобов, Исследование условий получения медных труб прессовкой с точки зрения качества изделий. «Металлург» № 4, 1934, стр. 82—88.

прогреты. Такое спокойное течение металла и позволило сделать указанное выше значительное снижение процента отходов. Никаких завихрений здесь нет и, конечно, у меди так же, как и у алюминия, электрона и пр., и быть не может по причинам, о которых уже говорилось выше.

Опытом также установлено, что, несмотря на отход материала в рубашке, общий процент отходов при работе с ней все же меньше, чем при работе без нее. При работе с рубашкой получается, конечно, полная гарантия доброкачественности изделий, но производительность пресса снижается вследствие затраты времени на удаление рубашки из контейнера. Переход с прессования с рубашкой на прессование без рубашки повышает производительность установки на 40—50%.



Фиг. 62. Продольный разрез медного прутка диаметром 69 мм с прессостатком (при прессовании по прямому методу)

Заслуживает внимания большая работа в этой области П. А. Захарова «Изучение процесса прессования латуни Л-59 при высоких температурах», проведенная под руководством профессора-доктора С. И. Губкина [1]. В ней изучены вопросы о характере истечения латуни Л-59 из контейнера и определения удельного давления истечения при различных температурах, скоростях, степенях деформации, формах матрицы и т. п., причем особенно важно, что латунь прессовали в горячем состоянии и в лаборатории и в заводских условиях. В результате была доказана полная возможность переносить полученные таким образом (в горячем состоянии) результаты лабораторных опытов на заводские установки.

Не касаясь выводов этой работы о величине удельных давлений (о чем речь идет далее), мы можем отметить, что было установлено следующее:

1) истечение меди аналогично приведенному выше на фиг. 38;

2) прессование латуни Л-59 при температурах ниже фазового превращения дает картину намечающихся трех объемов, которые, однако, выражаются не так резко, завихрения отсутствуют;

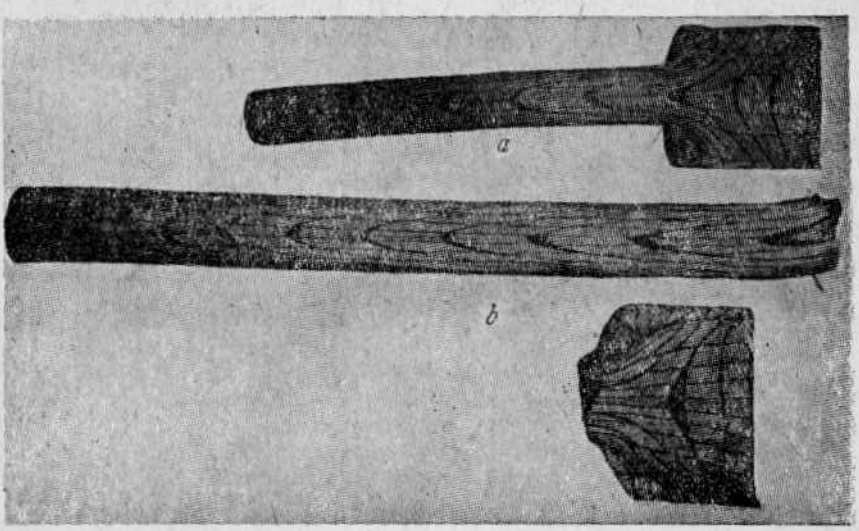
3) прессование латуни Л-59 при температурах выше фазового превращения дает истечение более спокойное, приближающееся по своему характеру к меди;

---

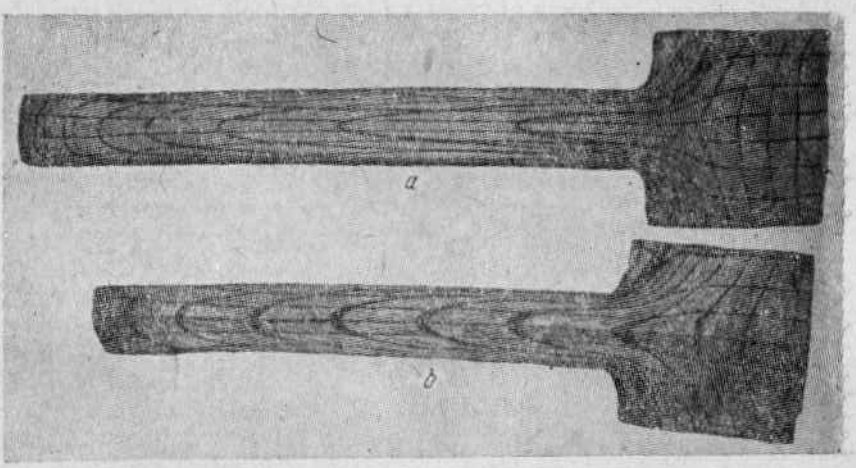
[1] Частично она напечатана в брошюре «Экспериментальные вопросы пластической деформации металлов», ОНТИ, Металлургиздат, 1934, вып. 1, стр. 95—107.

4) латунь однофазная (Л-70) трех объемов совершенно не обнаруживает, хотя деформация охватывает весь объем слитка.

Картина истечения с образованием резко выраженных трех объемов не является единственным видом и обязательной при всех условиях работы. Неоднократно отмечалось, что при прессовании по прямому методу в надлежащих температурных границах, с соответственно нагретым контейнером, а тем более при хорошей его смазке осаживание параллельных прессшайбе линий координатной сетки идет значительно более спокойно, без всяких «обвалов», в виде конусов, охватывающих весь объем слитка. При весьма эффективной смазке осаживание указанных линий координатной сетки может итти совершенно параллельными рядами, и в этом случае зона деформации образуется только вблизи матрицы, приближаясь к картине течения пластических масс или обратного метода прессования. Для иллюстра-



Фиг. 63. Истечение металла (при прессовании по прямому методу слитка диаметром 150 мм на пруток диаметром 60 мм):
a — мельхиора; *b* — меди



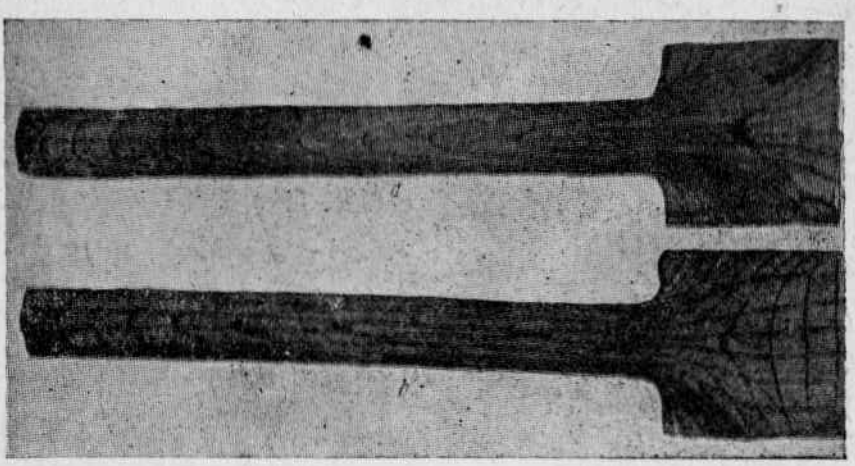
Фиг. 64. Истечение металла (при прессовании по прямому методу слитка диаметром 150 мм на пруток диаметром 60 мм):
a — бронзы Карро; *b* — латуни Л-62

ции сказанного приведены фиг. 63 и 64, полученные в заводских условиях прессования слитков 150 мм из меди, мельхиора Мх-80, латуни Л-62 и даже сложной бронзы Карро.

Дуралюмин

Для изучения картины истечения дуралюмина, имеющего в заводской практике очень важное значение, приводим следующую работу[1].

Прутки и профили из сплава типа дуралюмин прессуют прямым методом со смазкой контейнера и без смазки, а также и обращенным



Фиг. 65. Истечение металла при прессовании без смазки по прямому методу слитков диаметром 150 мм на прутки диаметром 60 мм ($\lambda = 6{,}28$):
a — меди; *b* — дуралюмина

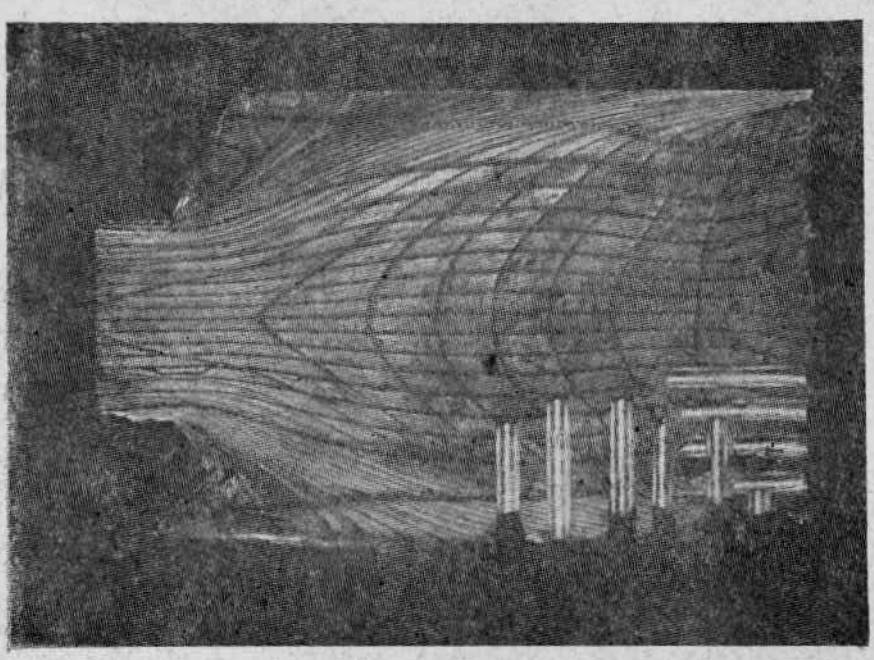
методом. При прессовании по первому методу пруток получает неприглядную поверхность, темную от графита и масла, с продольными рисками и наслоениями. При прессовании без смазки поверхность получается чистая, гладкая и блестящая. Прессование ведут обычно при температуре контейнера 250—300°, но иногда в начале работы и при температуре значительно ниже (около 60—100°). Скорость истечения изменяется при прямом методе от 25 мм/сек (при диаметре прутка около 50 мм) до 40—42 мм/сек. (при диаметре около 200—250 мм). При обращенном методе нормальная скорость истечения (прутки диаметром 25—70 мм) равна примерно 42—50 мм/сек.

На фиг. 65 дана сравнительная картина истечения меди *a* и дуралюмина *b* при прессовании по прямому методу без смазки слитка диаметром 150 мм на прутки диаметром 60 мм (вытяжка $\lambda = 6{,}28$ или степень деформации $\delta = 84\%$). На фиг. 66 показана картина течения металла при таком же прессовании прутка диаметром 125 мм из контейнера диаметром 280 мм. Слиток длиной 500 мм в данной стадии отпрессован на $^1/_{10}$ своей длины. Вытяжка $\lambda = 5{,}03$ или $\delta = 80\%$. На фиг. 67 показана дальнейшая ступень прессования, когда слиток был отпрессован на ½ своей длины. В обоих случаях видим течение металла, подобное тому, которое изображено на фиг. 38, 39 и пр.

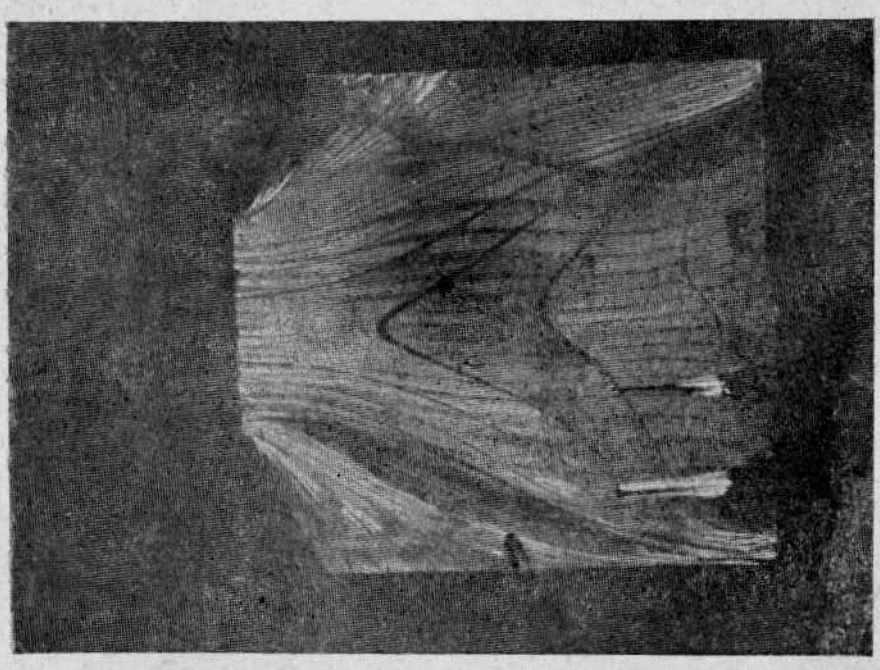
При прессовании из холодного (60—80°) контейнера (фиг. 68) оседание горизонтальных линий, естественно[2], идет более спокойно без образования вдали от матрицы конуса; он образуется только вблизи матрицы; зона деформации

[1] П. А. Сарычев, Истечение алюминиевых сплавов при прессовании. Оборонгиз, 1940.

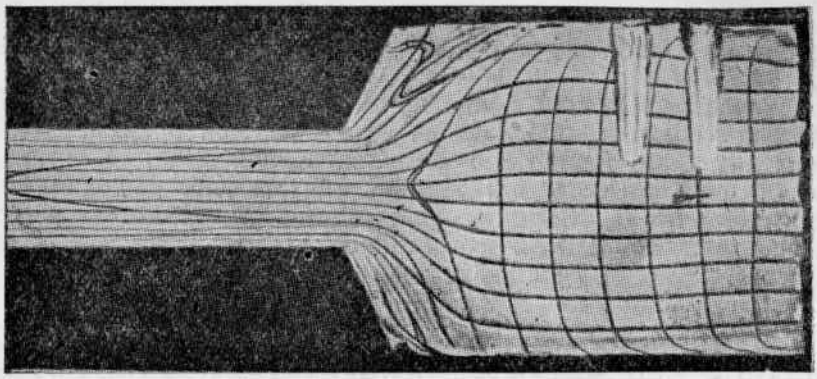
[2] Коэфициент трения дуралюмина при температуре 60—80° значительно ниже, чем при 200—250°; у меди, латуни и пр., наоборот, коэфициент трения понижается с повышением температуры (см. табл. 11—14).



Фиг. 66. Истечение дуралюмина при прессовании по прямому методу без смазки слитка диаметром 280 мм и длиной 500 мм на пруток диаметром 125 мм ($\lambda = 5{,}03$). Координатная сетка имела ширину по вертикали 15 и по горизонтали 25 мм; слиток отпрессован на $^1/_{10}$ своей длины; температура слитка 425—435° и контейнера 230—250°



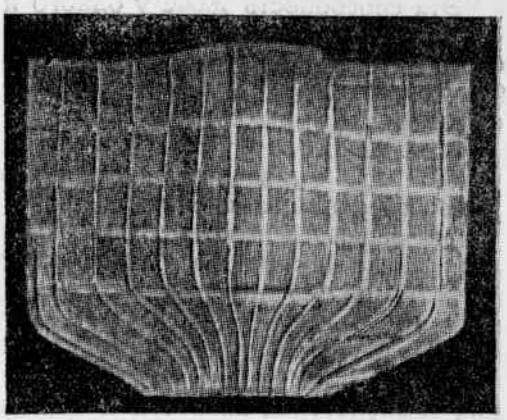
Фиг. 67. Истечение дуралюмина (все то же, что и на фиг. 66, но слиток отпрессован на половину своей длины)



Фиг. 68. Слиток дуралюмина диаметром 200 мм пропрессован по прямому методу на треть своей длины; температура слитка 425—435°, температура контейнера низкая (60—80°)

всего объема слитка не охватывает и картина истечения получается весьма близкая к течению пластических масс (фиг. 15) или олова в холодном состоянии (фиг. 19), только горизонтальные линии около стенок контейнера загибаются в сторону, противоположную движению пуансона, показывая торможение в этих местах частиц слитка, подобно тому, как это было показано на фиг. 39 при прессовании олова из шероховатого контейнера.

При прессовании прямым методом (фиг. 69) прутка диаметром 70 мм из контейнера диаметром 200 мм, но со смазкой картина истечения получается совершенно подобная течению пластических масс (фиг. 15). Такое же течение наблюдается и при обращенном методе прессования. Для смазки наилучшие результаты дает применение масла типа «Вапор Т» с температурой вспышки 310°.



Фиг. 69. Слиток дуралюмина диаметром 200 мм пропрессован по прямому методу на пруток диаметром 70 мм при нормальных температурных условиях, но со смазкой

Из этой работы можно сделать ряд ценных для практики выводов:

1) наилучшее качество продукции получается при степени вытяжки λ не ниже 10;

2) прямой метод прессования без смазки дает прутки наименее качественные;

3) прутки при прессовании без смазки по сечению и длине получают неоднородную структуру в виде крупнокристаллической наружной зоны, причем эта неоднородность не выправляется даже последующей обработкой давлением, а иногда еще увеличивается;

4) давление при прессовании без смазки требуется на 50—100% более, чем при работе со смазкой;

5) при прессовании со смазкой деформация в сечении и по длине прутка, за исключением самого переднего конца (100—150 мм), строго одинакова;

6) прутки и изделия из них при прессовании со смазкой имеют совершенно однородную структуру, обеспечивающую высокие механические качества;

7) давление при прессовании со смазкой требуется меньшее, почему при данной мощности пресса имеется возможность увеличить степень деформации;

8) при прессовании обращенным методом степень деформации по длине прутка одинакова, но структурная неоднородность может иметь место;

9) «утяжина» в заднем конце прутка может проявляться при всех методах прессования; образование ее вызывается опережением сердцевины слитка по отношению к его периферии;

10) обточка слитков дуралюмина обязательна, так как поверхностная зона слитка обогащена продуктами обратной ликвации;

11) закладывать слиток в контейнер следует донной стороной к матрице, т. е. верхней частью слитка к прессшайбе.

3. ИЗМЕНЕНИЕ ПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОНЫ ИХ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ В ГОРЯЧЕМ СОСТОЯНИИ

Всякая обработка металлов и сплавов давлением как в холодном, так и горячем состоянии становится возможной только благодаря особой их способности — пластичности, которой они обладают, правда, не в одинаковой степени и не при всех условиях. Пластичность есть способность вещества под действием внешних или внутренних сил при определенных условиях давать остаточные деформации без нарушения целостности тела.

Эта способность даже у одного и того же металла или сплава не всегда постоянна. При одних условиях степень пластичности — текучесть металла или сплава — выше, при других ниже и иногда настолько, что приходится говорить о пониженной пластичности или даже о хрупкости.

Равным образом сопротивляемость формоизменению также зависит от ряда факторов. Такими факторами, влияющими на сопротивляемость формоизменению, а также на пластичность и хрупкость металла, являются температура, скорость деформации, примеси, трение или смазка контейнера и инструмента и пр.

При прессовании, так же как и при других методах деформации в горячем состоянии, наиболее важным фактором является температура, к изучению влияния которой далее и переходим.

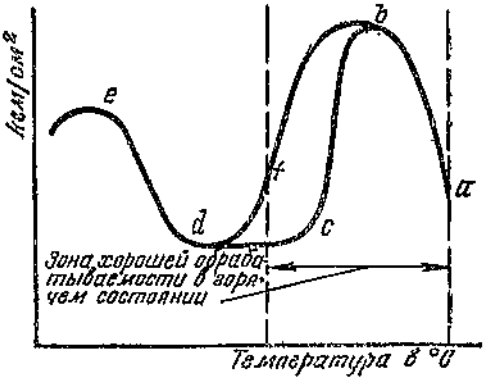
Скорым, простым и надежным методом для определения при высоких температурах вязкости и обратной ей величины — хрупкости металла или сплава — является ударная проба и, в частности, динамическое испытание на изгиб образцов, снабженных выточкой, на маятниковом копре Шарпи, Изода, Менаже и др. Получаемые кривые, так называемые кривые «резильянса» (фиг. 70), дают возможность установить оптимальные температурные условия для горячей обработки данного материала.

Имея кривую типа показанного на фиг. 70, какого-либо металла или сплава, мы всегда придем к заключению, что нагревать слиток следует до температуры, отвечающей на кривой точке *a*. Тогда, имея в виду некоторое охлаждение при подаче слитка к валкам прокатного стана или в контейнер пресса, деформация начнется при температуре точки *b*, а закончить ее нужно будет во избежание порчи изделия отнюдь не ниже точки *c* с тем, чтобы обработку не вести в зоне *cde* хрупкости или во всяком случае зоне пониженной пластичности металла или сплава.

Следует иметь в виду, что наиболее надежно устанавливаются этим методом (ударным) зоны обрабатываемости того или иного материала в горячем состоянии для ударных же видов обработки, главным образом, таких, как ковка или штамповка. Для деформаций, протекающих более медленно, таких, как изучаемое нами прессование, а

равно таких, как прокатка, более правильные границы обрабатываемости дает другой метод: определение относительного сжатия поперечного сечения образца при растяжении его при соответствующих температурах на разрывной машине.

При первом методе определения зоны обрабатываемости в горячем состоянии кривая резильянса получается довольно острой (фиг. 70, кривая *abcde*), так что оптимальная зона обрабатываемости, например для меди, получается от 850—900 до примерно 700°. При втором методе ее определения левая ветвь кривой значительно смещается влево, т. е. в сторону более низких температур (кривая *abfde*), так что для той же меди зона наилучшей обрабатываемости определяется от 850—900 до 540—550°. Практика ежедневно подтверждает возможность увеличивать продолжительность прокатки или, другими словами, снижать температуру окончания горячей обработки до 540—550°.



Фиг. 70. Кривая ударной вязкости, или резильянса, для определения оптимальной зоны обрабатываемости металла в горячем состоянии

Сопротивляемость формоизменению и степень пластичности материала можно определять также методом Бринеля и другими методами (определение степени деформации при осаживании бруска бабой, падающей с определенной высоты; определение работы при осаживании бруска до появления первой трещины и т. п.).

По изучению пластичности этими методами имеется ряд серьезных работ [1], но наиболее правильные границы зоны горячей обрабатываемости для изучаемого нами вида обработки дает второй метод — по кривым сжатия сечения образцов при разрыве.

При определении на основе указанных кривых оптимальной температуры прессования двухкомпонентных и более сложных сплавов (для получения надлежащих качеств изделия), необходимо иметь в виду, что процесс должен протекать при температурах, отвечающих однофазной системе. Об этом подробно будет сказано в следующей главе.

Почти все металлы и их сплавы при определенных температурных условиях проявляют, как сказано выше, ухудшение пластичности, обнаруживают бо́льшую или меньшую хрупкость, также и их сопротивляемость деформации подвержена значительным изменениям. Особенно резкие изменения этих свойств при высоких температурах проявляют наиболее часто обрабатываемые прессованием и применяемые в технике сплавы меди с цинком, к изучению которых в этом отношении мы сейчас непосредственно и переходим.

Вопрос о пластичности латуни в горячем и холодном состоянии являлся долгое время совершенно невыясненным. Так, во всех старых учебниках и руководствах указывалось, что все медноцинковые сплавы по способности их к обработке прокаткой, ковкой, прессованием и пр. должны быть разделены на три класса: а) допускающие исключительно холодную обработку — сплавы с содержанием цинка до

[1] Подробно результаты этих работ изложены в книге П. С. Истомина, Прессование металлов, ОНТИ, 1935, стр. 70—84.

35% [1], состоящие только из α-кристаллов; б) обрабатывающиеся и в горячем и в холодном состояниях сплавы с содержанием цинка от 35 до 45,7%; в) содержащие цинка свыше 45,7%, не допускающие никакой обработки. Нас интересуют только сплавы первого и второго классов, как допускающие прокатку, горячее прессование и пр. Первое положение о возможности катать латунь с содержанием цинка до 35% только в холодном состоянии считалось совершенно непреложным (см. Евангулов, «Сплавы» и др.). Впрочем, и сейчас еще в литературе можно встретить такие утверждения. Например проф. И. А. Одинг в своей книге «Прочность металлов» (1932, стр. 261 [2]) говорит «...α-латунь не поддается обработке в горячем состоянии», и это в то время, когда наши заводы катают около 35 лет без всяких затруднений латунь с 60—63% Cu и около 20 лет латунь с 65—67% и даже томпак с 80 и 90% Cu, достигая этим большой производительности и в то же время прекрасных качеств выпускаемого материала. Поэтому сейчас можно говорить только о более легкой, более спокойной или требующей большей внимательности прокатке этого класса латуней в горячем состоянии. Здесь все дело в том, что при прокатке α-латуней, имеющих большую по протяженности и высоко по температуре расположенную зону хрупкости (т. е. другими словами, узкий температурный интервал обрабатываемости), должны быть тщательно соблюдаемы определенные условия обработки: быстрота работы, точность температурных границ, в связи с этим определенное число пропусков, конечная толщина полосы и т. п. Невнимательное отношение к этому безусловно может привести к неудаче и отказу от горячей прокатки этих сплавов.

Для горячей прокатки α-латуни также очень важна чистота исходных материалов, в частности, когда приходится работать со сплавами, содержащими около 65—68% Cu, так как загрязнения сильно увеличивают хрупкость этого материала. В особенности вредными примесями для прокатки в горячем состоянии этой латуни являются Bi, Sb и Pb. Последний, как показали работы Бауэра и Хансена, имеет растворимость и в α- и в (α+β)-латунях, практически равную нулю, но в (α+β)-латунях он выделяется внутри кристаллов в виде дисперсно рассеянных мелких капелек, а в α-латунях располагается по границам этих кристаллов. Вследствие этого при нагреве α-латуни до температур выше плавления свинца последний расплавляется, нарушая этим спаянность кристаллов, и слиток разваливается.

При прессовании эти факторы по сравнению с прокаткой имеют меньшее значение ввиду особо здесь благоприятной схемы напряженного состояния (всестороннее сжатие в контейнере) и быстроты протекания процесса, так что легче создать условия обработки, чтобы температура изделия до выхода из матрицы не понижалась до границ хрупкой зоны. Однако влияние примесей и здесь остается в полной силе.

Поэтому в латунях ЛТ-90, Л-80 и Л-68 содержание свинца допускается не больше 0,03% и в Л-62 не свыше 0,1%; висмута в томпаках ЛТ-90 и латунях Л-80 и Л-68 — не свыше следов, а в латунях Л-62 — не свыше 0,003%. Сурьма допускается в томпаках ЛТ-90 не свыше следов; в латунях Л-80, Л-68 и Л-62 — не свыше 0,005%.

В (α + β)-латунях висмута допускается также не свыше 0,003%, сурьмы не свыше 0,01%; свинец в этих латунях обычно допускается до 0,5%, а в прутки из мунца 58% (так называемый «автоматный

[1] В настоящее время α-латунью считаются сплавы, содержащие меди до 39,5% включительно.

[2] В последнем издании 1937 г. эта ошибка исправлена.

мунц») свинец иногда для лучшего отделения стружки даже специально присаживают в количестве до 3%, причем никаких особых затруднений на основании сказанного выше при прессовании его не наблюдается. Количество остальных примесей также не должно превышать определенных, указанных в ГОСТ сравнительно невысоких норм.

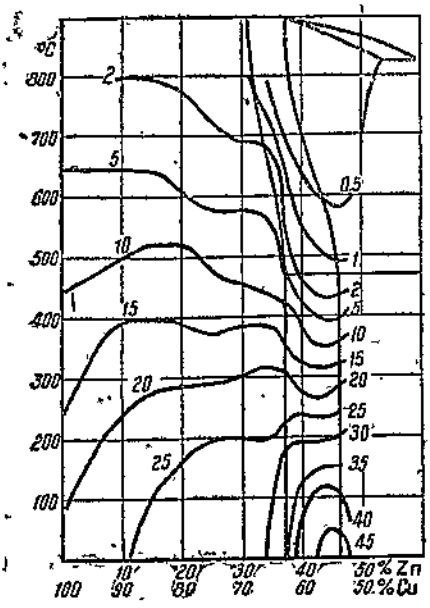
С целью исследования пластичности и обрабатываемости латуни при различных температурах была проделана такая работа. Чтобы исключить влияние примесей, сплавы готовились из безупречно чистых исходных материалов — электролитической меди и чистейшей рафинировки цинка. Образцы для исследования изготовляли следующим образом. Для изучения сплавов от Л-67 до Л-52 образцы брали главным образом из спрессованных и протянутых прутков; латуни от ЛТ-95 до Л-70 применялись в виде холодно прокатанных листов, и в количестве 10—20% таким же образом изготовленных образцов применялись и для других сплавов кроме Л-52. Все прутки поступали для испытания отожженными.

Исследование было поставлено в совершенно тождественных условиях и в большом масштабе, охватывающем латуни всех составов в пределах от Л-52 до чистой электролитической меди.

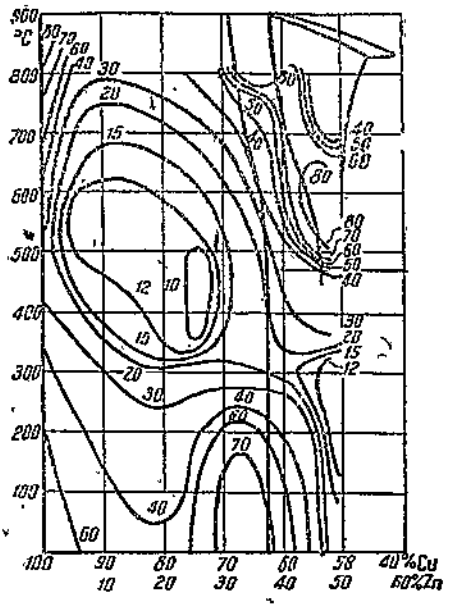
В важной области на границах α- и $(\alpha + \beta)$-зон было проведено шесть опытов с латунью Л-67, один с Л-66, один с Л-65 и два с Л-63. При исследованиях применялись цилиндрические образцы: для латуни с 58, 56, 54 и 52% Cu диаметром 10 мм и для остальных сплавов 15 мм. Эта разница была установлена в зависимости от размеров печи, так как при предварительных опытах было найдено, что удлинение богатых медью сплавов достигает 130%, а минимальная длина имевшейся печи была 150 мм. Печь с силитовым сопротивлением в соляной ванне подвешивалась перпендикулярно к разрывной машине. До 700° применялась смесь из 50% $NaNO_2$ + 50% KNO_3; свыше 700° из 30% K_2SO_4; 30% Na_2SO_4; 20% NaCl и 20% KCl. Температура измерялась термоэлементом, причем последний находился во время всего исследования в жидкой ванне. Скорость разрыва при всех опытах была одинаковая — около 30 мм/мин. Образцы при температуре разрыва выдерживались в печи полчаса. Граница упругости и сопротивление разрыву фиксировались самопишущим прибором. Удлинение осторожно измерялось между набитыми кернами, нанесенными на образец перед нагревом. Результаты исследования на разрыв приведены на сводной диаграмме фиг. 71. На кривых стоят цифры, показывающие сопротивление разрыву в килограммах на квадратный миллиметр. На диаграмме фиг. 71 ясно видно, что $(\alpha + \beta)$-латунь при горячей обработке требует значительно меньшей затраты энергии, чем α-латунь. Основным показателем пластичности металла является величина сжатия поперечного сечения при разрыве. Эти данные для латуни разных сплавов даны в сводной диаграмме на фиг. 72. Цифры на кривых показывают сужение в процентах поперечного сечения при разрыве.

На диаграмме (фиг. 72) видно, что $(\alpha + \beta)$-латуни при высоких температурах значительно пластичнее α-латуней; при низких, наоборот; при обыкновенной температуре особой пластичностью из латуней α отличается сплав Л-67, почему его обычно и применяют при штамповке изделий с глубокой вытяжкой, и наихудшей по пластичности является латунь ЛТ-80. Зона хрупкости у $(\alpha + \beta)$-латуней лежит очень низко, что дает возможность спокойно их обрабатывать в горячем состоянии без опасения попасть в эту зону. Наоборот, зона хрупкости у α-латуней начинается очень высоко, и этот короткий температурный интервал крайне затрудняет горячую обработку этих сплавов, так как заставляет работать с большими скоростями, прокатывать полосы до более толстых размеров, чем удается прокатывать $(\alpha + \beta)$-латунь, и т. п.

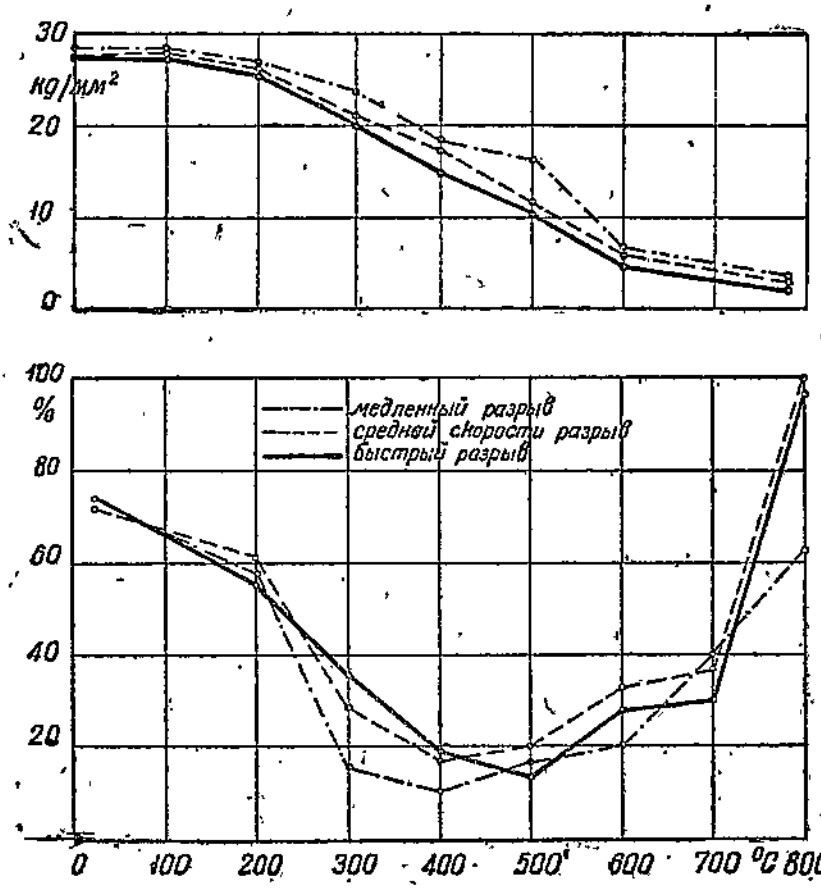
Поэтому для изучения влияния скорости на способность латуни к формоизменению было проведено несколько испытаний на разрыв латуни Л-67; представляющей наибольшие затруднения для горячей обработки при трех скоростях: медленной — 5 мм/мин, средней — 20 мм/мин и быстрой — 75 мм/мин. Как видно на фиг. 73 и 74, представляющих первая для латуни Л-67 и вторая для Л-60 изменение сопротивления разрыву (верхняя часть) и сжатия поперечного сечения (нижняя часть) при указанных скоростях, разница в результатах при малой и большой скоростях опыта не так значительна, однако все же видно, что при повышении скорости зона хрупкости определенно сдвигается в



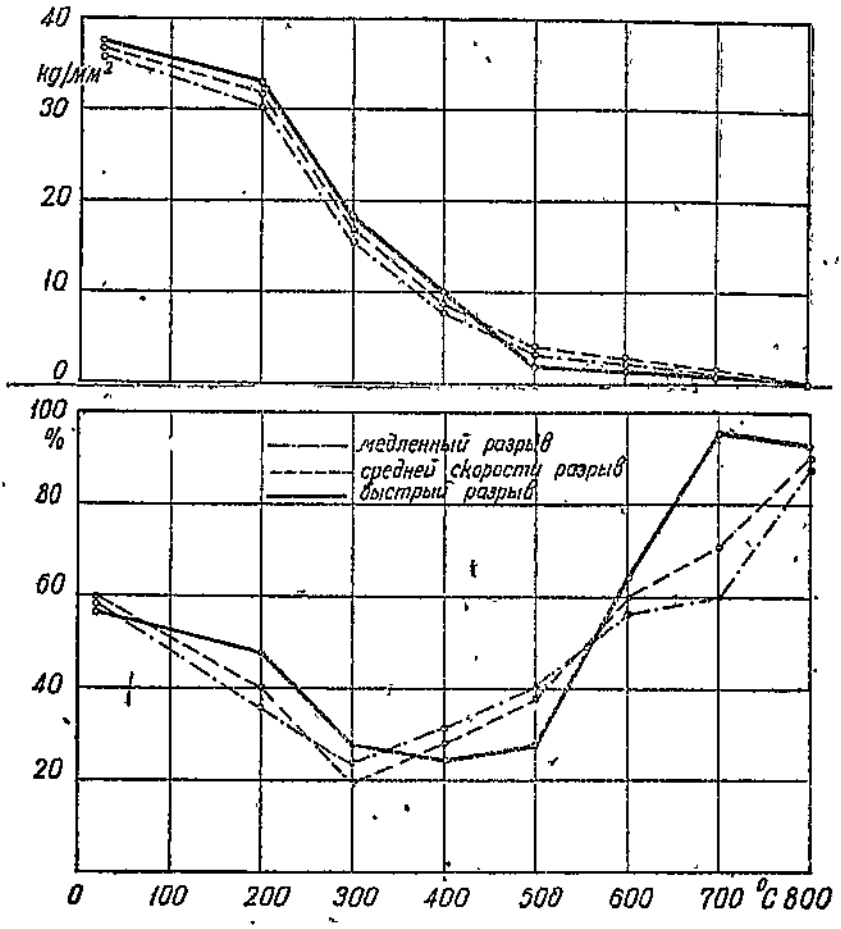
Фиг. 71. Сопротивление разрыву в килограммах на квадратный миллиметр (по Ганзеру)



Фиг. 72. Сжатие в процентах поперечного сечения бруска при разрыве (по Ганзеру)



Фиг. 73. Сопротивление разрыву и сжатие латуни Л-67 (по Ганзеру)



Фиг. 74. Сопротивление разрыву и сжатие латуни Л-60 (по Ганзеру)

сторону более высоких температур. При более медленном разрыве эта разница становится значительно резче.

На практике при прокатке латуни более богатой медью (65—67%) предпочитают быстроходные прио-станы со скоростью валков от около 1,8 до 2,5 м/сек. Это необходимо для того, чтобы использовать узкий температурный интервал пластичности, т. е. чтобы металл при охлаждении не попадал в зону хрупкости. Для прокатки латуни Л-60 такие скорости не являются необходимыми. До того момента, пока на это (а также на влияние больших скоростей на способность к формоизменению) не было обращено должного внимания и вопрос не был достаточно изучен, возможность прокатки латуни сначала Л-63, а затем Л-67 стояла под большим сомнением. В настоящее время латуни Л-63 и Л-67 считаются вполне пригодными для горячей прокатки.

Следует иметь в виду, что необходимая в одном отношении большая скорость обработки, в другом отношении является вредной, так как она повышает зону хрупкости сплава, т. е. сокращает зону его хорошей пластичности.

Это заключение, относящееся также и к прессованию, основывается на многочисленных примерах из практики. Известно, например, появление пилообразных надрывов у прессованных прутков мунца Л-58. Здесь может быть причиной высокая температура, или перегрев слитка, но причину брака нужно искать главным образом в высокой скорости прессования, так как область хрупкости наступает при этом значительно ранее указанных на диаграмме температур.

Второй пример — прессование латуни Л-67. Если процесс идет медленно, то способность сплава к формоизменению выше, трещин не получается; если же прессовать при той же температуре, но быстро, то получается совершенно отчетливо междукристаллическая хрупкость.

Поэтому на оптимальную скорость прессования, отвечающую данному сплаву, должно быть также обращено самое серьезное внимание. В частности, α-латунь следует прессовать медленнее, чем (α + β)-латунь. Это хорошо известно каждому производственнику.

Цинк при испытании на разрывной машине дает следующие величины поперечного сечения ψ (табл. 2):

Таблица 2

Температура, °С	ψ, %	Температура, °С	ψ, %
20	7	247	11
112	15	330	15
150	10	405	2

Последние работы по изучению прокатываемости цинка, влияния температуры нагрева и загрязнений показывают, что существовавшее ранее мнение, что температуры между 120 и 140° являются для цинка особо неблагоприятными, не подтвердилось. Температура нагрева в 90° на основе этих работ должна быть признана для цинка, полученного как при помощи огневого рафинирования, так и электролитическим методом, наименее допустимой. Такое заключение как раз находит свое отражение в падении величины (см. табл. 2) с 15% при 112° до 7% при 20°.

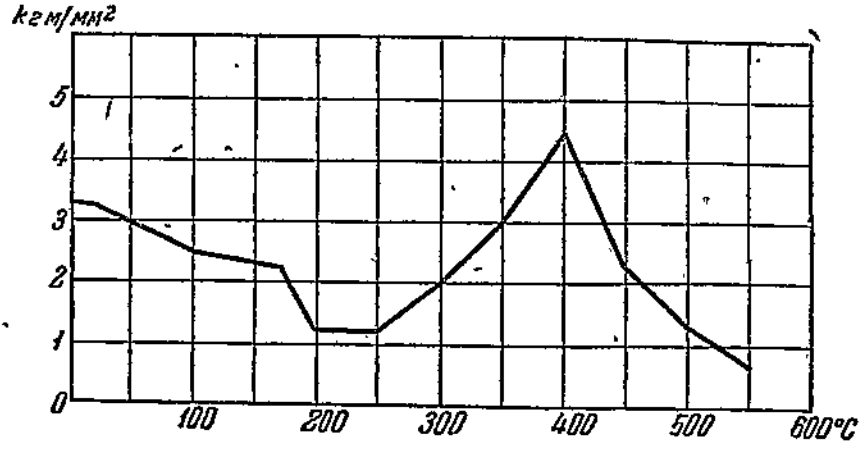
Особенно хорошо цинк прессуется при 100—150°. Причиной хрупкости цинка огневого рафинирования являются, повидимому, примеси и загрязнения.

Фиг. 75. Зависимость ударной твердости никеля от температуры (по Зауэрвальду и Фишниху)

На фиг. 75[1] приведена зависимость ударной вязкости никеля от температуры, показывающая хотя и нерезкое, но все же падение вязкости этого металла при 400 и 700°. На фиг. 76 даны результаты испытания дуралюмина на ударную вязкость, свидетельствующие о значительной хрупкости этого сплава при 200—250°. На фиг. 77 дано изменение механических свойств алюминия при высоких температурах (по Грарду). На диаграмме видно, что наилучшей температурой для горячей обработки алюминия является 320—450°.

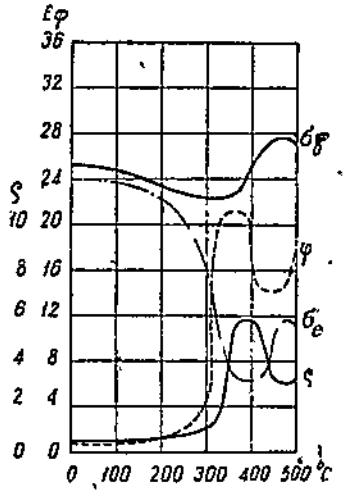
Интересно отметить, что в отношении алюминия и его сплавов долгое время существовало убеждение, что они почти одинаково пластичны при всех температурах. Однако приведенная выше диаграмма в отношении дуралюмина и проведенная профессором-доктором С. И. Губкиным работа со сплавом RR показывают, что сплавы алюминия определенно обнаруживают начало ударной хрупкости при температуре 420°, давая наибольшую вязкость при 320—400°.

[1] Зауэрвальд. Пособие по металловедению, ГНТИУ, 1933, стр. 399, фиг. 368.



Фиг. 76. Вязкость дуралюмина при высоких температурах (по Гривсу)

Причины появления при определенных температурах хрупкости еще неясны. В частности, в отношении латуни Зауэрвальд [1] объясняет «...незначительную пластичность α-латуни, начиная от 300°, имеющимся здесь разрушением границ зерен. При более медленной обработке то же явление наступает в α-латуни только при 600°. Пластичность при 900° у α-латуни значительно повышается и снова теряется наклонность к разрушению на границах зерен. При этой же температуре появляется самопроизвольная кристаллизация в деформирующихся кристаллах. Разрушение границ зерен латуни при средних температурах может быть отнесено отчасти за счет свинца, так как свинец, повидимому, не переходит [2] в твердый раствор и благодаря своей низкой температуре плавления может нарушать связь между кристаллами в α-латуни». Высказав это предположение, Зауэрвальд здесь же добавляет, что этому противоречит факт указанного ранее повышения пластичности α-латуни при более высоких температурах, т. е. вопрос остается неясным и хрупкость может объясняться и другими факторами. То же в отношении никеля. Зауэрвальд предполагает, что отмеченное при определенных температурах падение вязкости никеля может быть объяснено «...магнитными превращениями, происходящими при 360°, но не сопровождающимися изменением пространственной решетки, ибо рентгеновским анализом такое искажение решетки не подтверждается».



Фиг. 77. Изменение механических свойств алюминия после наклепа в 50% в зависимости от температуры: ($\sigma_в$ — временное сопротивление, кг/см²; σ_e — видимый предел упругости, кг/см²; φ — удлинение, %, и ρ — ударная вязкость, кгм/см²)

Не зная точной причины самого явления, нам пока приходится ограничиться лишь изучением областей и величины понижения пластичности или хрупкости. Зная это, можно установить температуры горячей обработки и, в частности, определить оптимальные температуры прессования.

[1] Зауэрвальд, Пособие по металловедению, ГНТИУ, 1933, стр. 407.

[2] Из последних работ с несомненностью вытекает, что растворимость свинца в α-латуни практически равна нулю.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРЕССОВАНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СТРУКТУРЫ И КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ

Знание диаграммы равновесия и областей пониженного состояния пластичности металла или сплава позволяет установить те оптимальные температуры, до которых должен быть нагрет слиток перед всякой горячей обработкой, и в частности перед прессованием, для того чтобы процесс шел при наиболее благоприятных условиях и структура получалась определенная, обеспечивающая надлежащие качества изделий. Особенно трудную задачу в этом отношении представляет латунь, с изучения определения оптимальной температуры для прессования которой мы и начнем.

Понятно, что процесс должен вестись при тех температурах, которые обеспечивают наилучшую степень пластичности материала. Таким образом ясно, что нижний температурный предел ограничен зоной хрупкости, и процесс нужно вести выше. Но тогда является вопрос, насколько выше? Ведь с точки зрения расхода энергии на деформацию правильно было бы работать при возможно высоких температурах, так как сопротивляемость формоизменению всякого металла и сплава тем меньше, чем выше температура. Наоборот, если температура прессования будет очень низкой, то (см. диаграмму фиг. 71) сильно возрастает потребное для деформации давление. Кроме того, высокая температура прессования иногда желательна нам еще и потому, что тогда объем V_1 возрастает за счет V_2 и, следовательно, повышается выход доброкачественного изделия.

Однако при этом нужно иметь в виду, что приближение к линии ликвидуса при прессовании влечет за собой крупнозернистую, негодную структуру изделия. Значит, верхняя температура у нас также ограничена. Для выяснения этого вопроса с точки зрения получения определенной структуры, обусловливающей необходимые качества полученных изделий, разберем отдельно условия прессования α- и $(\alpha+\beta)$-латуней.

Если латунь будет иметь такой состав фазы α, что и при нагреве до любой температуры она переходить в фазу $(\alpha+\beta)$ не будет, то температура нагрева слитка определяется просто: снизу — верхней границей зоны хрупкости (по диаграмме фиг. 72), и сверху — возможным приближением к линии ликвидуса с тем, чтобы не получать очень крупнозернистой структуры, которая делала бы изделия негодными. Никаких других соображений в этом случае иметь не приходится.

При прессовании же латуней такого состава, что при высоких температурах происходит переход из одной фазы в другую, задача значительно усложняется. Это служило (а иногда служит еще и сейчас) причиной получения при прессовании изделий ненадлежащего качества. Поэтому совершенно понятен тот интерес, который постоянно вызывал у производственников и исследователей этот тип латуней и то количество работ, которое проведено и ведется еще и сейчас в этой области.

α-латунь

Вопрос об определении оптимальной температуры для прессования α-латуни впервые был изучен в 1926 г.

Опыты по изучению наилучшей температуры прессования α-латуни производились со слитками, содержащими 61% Cu. Слитки нагревались до температуры около 750°, так как по проведенным ранее наблюдениям отпрессованные при этой температуре латунные трубы обнаруживали наилучшие механические свойства.

Для опытов были приготовлены из такой латуни три пустотелых слитка, которые были одинаково нагреты в ролевой печи до температуры 740°. Затем у двух слитков температура была поднята до 750 и 760° и они были спрессованы после того, как контейнер пресса получил при предварительной работе постоянную температуру.

В табл. 3 приведены данные рабочего давления и скорости истечения указанных выше трех слитков латуни.

Таблица 3

Давление и скорость прессования латуни

Температура °С	Продолжительность прессования, сек.	Давление в рабочем цилиндре кг/см²	Длина прутка м	Скорость истечения м/сек.
740	8,0	150—200	10,0	1,25
750	6,8	150—200	10,4	1,53
760	6,0	130—180	10,4	1,57

Таблица 4

Сопротивление разрыву σ_b и удлинение φ прессованных труб

№ по пор.	Температура °С	σ_b сопротивление разрыву кг/мм²	φ удлинение %	Сумма $\sigma_b + \varphi$
1	740	40,0	32,0	72,0
2	750	42,7	33,7	76,4
3	760	43,0	41,0	84,0

Внутреннее сопротивление пресса требовало затраты давления на холостой ход 15—20 кг/см². Данные о сопротивлении разрыву и удлинении полученных прессованием труб приведены в табл. 4.

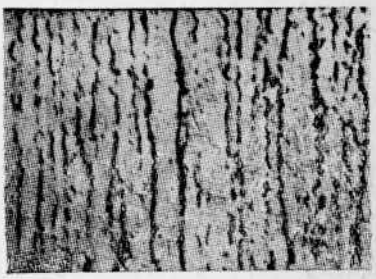
Таким образом сопротивление σ_b и удлинение φ% трубы, отпрессованной при 760°, приобретают наибольшие значения. Также возрастает и скорость истечения с 1,25 м/сек при 740° до 1,57 м/сек при 760°, так как материал при температуре в 760° представляет, конечно (см. фиг. 71) меньшее сопротивление деформации, почему при том же давлении течет более быстро.

Если исследовать структуру трубного слитка, а также начала трубы, середины и конца ее, то увидим, следующее:

1) отпрессованная при температуре в 740° труба показывает в продольном разрезе ясную линейную (строчечную) структуру кристаллов как в начальном конце трубы, так и в середине (фиг. 78 и 79, *a*) и мелкокристаллическую глобулярно-точечную структуру (фиг. 79, *c*) в конце;

2) при прессовании слитка, нагретого до 750°, в начальной части трубы еще была заметна линейная структура (фиг. 79, *a*); в середине она совершенно исчезла и обнаруживалось нормальное для этой латуни крупнокристаллическое (прессовое) строение (фиг. 79, *b*), почти такое же, как у литых сплавов этого состава; в конце трубы структура была точечная (фиг. 79, *c*) или полосчатая (фиг. 78 и 79, *a*);

3) отпрессованная при 760° труба как в передней, так и в средней и задней частях имела почти одинаковую по длине нормальную для такой латуни крупнокристаллическую игольчатую структуру (фиг. 80).



Фиг. 78. Латунная (61% Cu) труба, отпрессованная при 740°; линейная полосчатая структура. ×160

При прессовании труб из сплошного слитка с прошивкой дыры иглой на прессе, как и можно было ожидать, картина структурного строения получается такой же.

Указанным выше методом были отпрессованы из сплошных слитков латуни с 61,0% Cu три трубы: одна при 740° (фиг. 78), вторая при 750° (фиг. 79, *a*, *b*, *c*) и третья при 760° (фиг. 80). Начало, середина и конец трубы показывают различие

в отношении наличия и формы β-кристаллов. При более низкой температуре прессования (ниже 740°) выступает чисто линейная структура, в то время как прессованная при 760° труба линейной структуры совершенно не обнаруживает. Чем объясняется эта разница? Термический анализ латунного слитка, содержащего 61% Cu, при 758° показал остановку на кривой охлаждения, так как при этой температуре началось выделение α-кристаллов из (α + β). Следовательно, труба, отпрессованная при 760° с 61% Cu, была отпрессована выше, а при 740° ниже линии перехода (α + β) в α

Кристаллы β при высоких температурах пластичны, при низких, наоборот, хрупки; в противоположность этому кристаллы α при высоких температурах менее пластичны, чем при низких. Отсюда и разная структура начала, средины и конца прессуемого изделия.

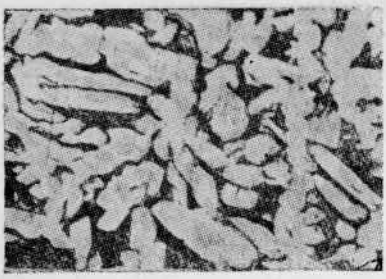
a *b* *c*

Фиг. 79. Латунная (61% Cu) труба, отпрессованная при 750°; *a* — начало трубы (полосчатая структура); *b* — середина трубы (нормальная прессовая структура); *c* — конец трубы (неясно выраженное точечное строение)

Начало трубы прессуется при более высокой температуре, чем ее конец. Поэтому, в зависимости от температуры нагрева, и получается в изделии или линейная, полосчатая (фиг. 79, *a* — при более низкой температуре нагрева), или нормальная для данного состава латуни прессовая структура (фиг. 79, *b* — при более высокой температуре нагрева).

Средняя часть, отпрессованная из более горячей части слитка, обработанная при температуре выше перехода (α + β) в α, прессуется при наличии β-кристаллов (фиг. 79, *b*) и показывает нормальную прессовую структуру. Конец трубы будет всегда прессоваться несколько более холодным, даже при наличии подогрева контейнера, поэтому он дает точечную (фиг. 79, *c* — при более низкой температуре слитка) или при более высоком нагреве полосчатую (фиг. 78 и 79 *a*) структуру. При нагреве еще более высоком структура на всем протяжении, естественно, будет почти одинаковая — прессовая (фиг. 79, *b* или 80).

Из сказанного ясно, что латунь α следует нагревать до такой температуры, чтобы прессование закончилось и изделие вышло из матрицы с температурой, отвечающей зоне (α + β), т. е. выше линии перехода *EF* (см. фиг. 85) градусов на 10—20. Тогда структура изделия будет нормальная для этого состава латуни — типа фиг. 79, *b* или 80.



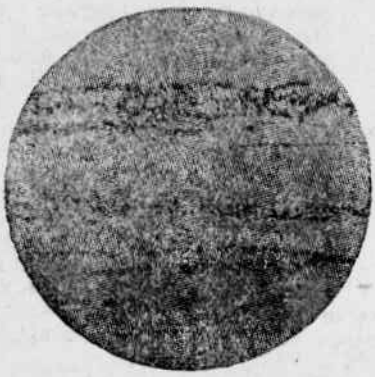
Фиг. 80. Латунная (61% Cu) труба, отпрессованная при 760°. × 160

Из проведенных опытов вытекает, что при прессовании латуни с содержанием 62,5% Cu при температуре, оптимальной даже для близкой по составу латуни Л-61, надлежащих хороших качеств изделия мы бы не получили. На основе диаграммы фиг. 85 можно сделать заключение, что структура изделия в этом случае должна быть линейчатой или мелкокристаллической — глобулярной. Практика это постоянно и показывает. Значит, для каждого состава латуни температура прессования должна быть различна и должна определяться из указанных выше соображений, т. е. чтобы процесс оканчивался чуть выше (на 10—20°) линии перехода (α + β) в α.

На то, что линия перехода β в (α + β), а равно (α + β) в α есть линия конца прессования, указывают многие примеры. Так, ла-

тунь с содержанием 56% Cu, прессуемая при температуре, отвечающей содержанию латуни с 58% Cu, показывает перегрев и дает негодный материал (фиг. 81). Латунь с содержанием 61,5% Cu, отпрессованная при температуре, отвечающей латуни с 58% Cu, будет негодной. Латунь с содержанием 52% Cu известна своим крупнокристаллическим строением при прессовании, почему ее совершенно не следует прессовать в горячем состоянии [1].

При установлении оптимальной температуры обработки следует учитывать также величину сечения и форму прессуемого прутка, а также толщину стенки получаемой трубы или профиля: одно дело прессовать из слитка диаметром, например, 150 мм пруток диаметром 50 мм, другое — в 25 и совершенно особое — проволоку диаметром 10 мм или полосу 30 × 10 мм. Ясно, что охлаждающее действие матрицы в указанных случаях будет совершенно различное, и потому при прессовании тонких прутков или тонкостенных труб температура должна быть соответственно принята выше, чем при прессовании более толстых изделий. В виде примера можно привести прессование тонкой латунной проволоки с содержанием 66% Cu; ее прессуют через несколько отверстий в матрице, причем даже при высокой температуре нагрева слитка, отвечающей нормально сплаву при прессовании прутков большего диаметра, в этом случае все же получается линейная структура (фиг. 82).



Фиг. 81. Строение латуни с 56% Cu (0,18% Pb), отпрессованной при температуре, оптимальной для латуни с 58% Cu (ясно виден перегрев). × 100

Фис. 82. Структура латунной (66% Cu, 0,09% Pb, 0,04% Fe) проволоки, очень горячо прессованной (ясно видна линейная структура). × 80

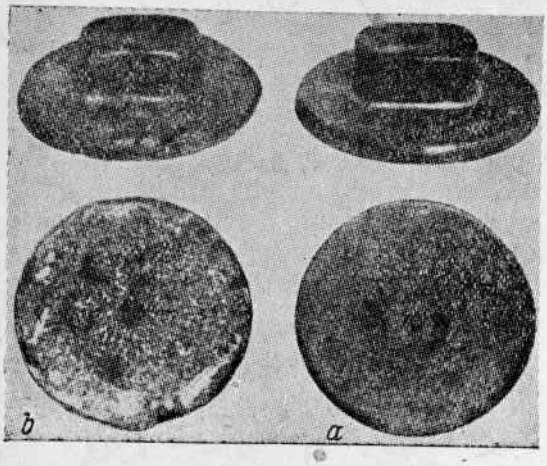
(α + β)-латунь [2]

При прессовании изделий из одного и того же прутка латуни изделий часто оказывается, что изготовленные совершенно одинаковым образом штамповкой в горячем состоянии при совершенно одинаковой температуре (нагрев в электрических печах) изделия получаются разного вида и разного качества: иногда их поверхность бывает совершенно гладкая, без плен и прочих дефектов (фиг. 83, *а*), иногда же — со множеством трещинок по бортику и с сильно шерохова-

[1] Латунь с 54% меди еще удается прессовать. Такой сплав, хотя и довольно хрупок, но еще пригоден для некоторых изделий. На поверхности выпрессованного из этого сплава прутка иногда выделяются светлые капли богатой цинком γ-латуни с содержанием меди до 30%. Сплав этот не затвердевает в виде гомогенной β-латуни, а выделяет по границам зерен γ-фазу.

[2] Так как подобного рода латунь прессуется наиболее часто и на практике представляет много хлопот, то вопрос о выборе температуры прессования латуни такого состава излагается значительно полнее, чем приведенный выше.

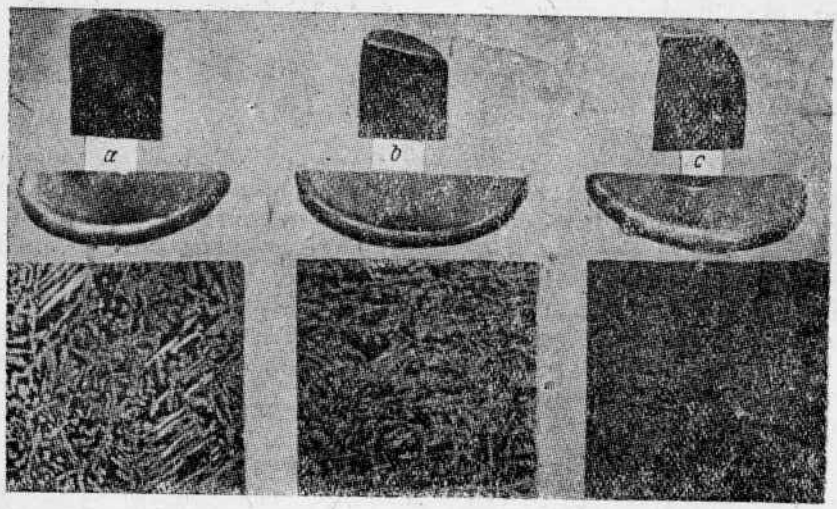
той поверхностью (фиг. 83, *b*). Макроснимок показывает, что в первом случае структура мелкозернистая, а во втором — грубокристаллическая. В чем же дело?



Фиг. 83. Образцы изделий, отштампованных из латуни Л-58 с 2% Pb: *a* — хорошие изделия, строение мелкокристаллическое; *b* — брак, строение крупнокристаллическое

Работа велась совершенно одинаковым образом и в одинаковых условиях, а результаты получились столь различные.

Чтобы выяснить это, были произведены следующие опыты. При одинаковой температуре (около 720°) были напрессованы прутки диаметром 50 мм и изучена структура в начале, в середине и в конце этих прутков (фиг. 84). Затем из этих прутков были нарезаны цилиндрики длиной по 100 мм, которые при 700—725° были спрессованы в круглые пластинки толщиной 15 мм. В результате получились изделия, изображенные на фиг. 84, резко отличающиеся одни от других в зависимости от того, из какой части прутка они были сделаны. Изготовленные из передней части и середины прутка пластинки не имели на поверхности никаких трещинок по бортику или других каких-либо пороков (фиг. 84, *a* и *b*), в то время как на пластинках из концевой части (фиг. 84, *c*) были заметны трещинки, морщинки и т. п., а также совершенно явственно выступало крупнокристаллическое строение.



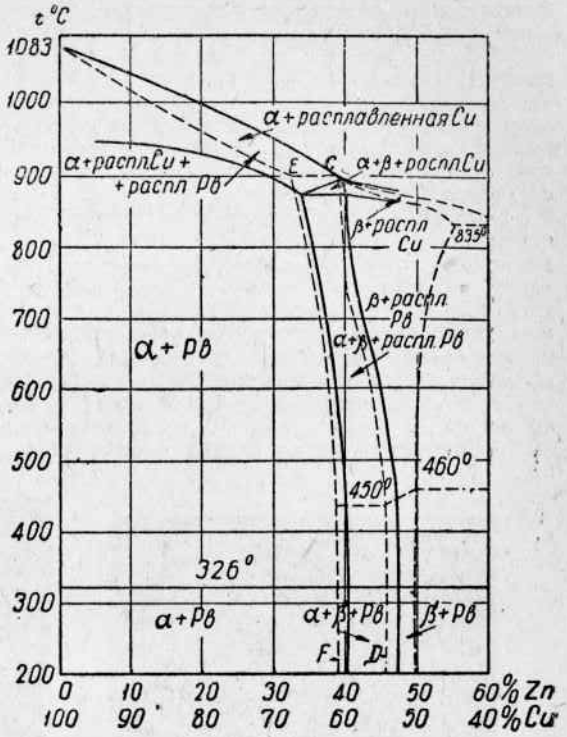
Фиг. 84. Прессованные прутки с 58% Cu, 40% Zn, 2% Pb. × 40: *a* — начало; *b* — середина; *c* — конец

Обратим внимание на то, что применяемая для прессования прутков латунь, подвергаемая обработке резанием, обычно содержит около 58% Cu, 2% (иногда даже до 3%) Pb, остальное Zn, почему границы перехода β в $(\alpha+\beta)$ у нее значительно сдвигаются влево. В этом случае надлежит пользоваться не обычной диаграммой состояния медноцинковых сплавов, построенной для чистых металлов, а диаграммой Бауэра и Хансена, изображенной на фиг. 85.

Латунь указанного выше состава при комнатной температуре состоит из кристаллов, твердого раствора $(\alpha+\beta)$ и малых включений свинца. При повышении температуры до ~ 730° β-фаза совершенно поглощает α-фазу.

При охлаждении сплава из раствора сначала выделяются β-кристаллы, которые со своей стороны при дальнейшем охлаждении на линии *CD* перехода β в (α+β), т. е. около 730°, начинают выделять более богатые медью α-кристаллы в виде более или менее тонких игл, расположенных внутри более темных, хрупких при комнатной температуре β-кристаллов, и как бы перевязывают их по всем направлениям. Вследствие этого такой сплав обладает достаточной вязкостью и вообще хорошими механическими свойствами.

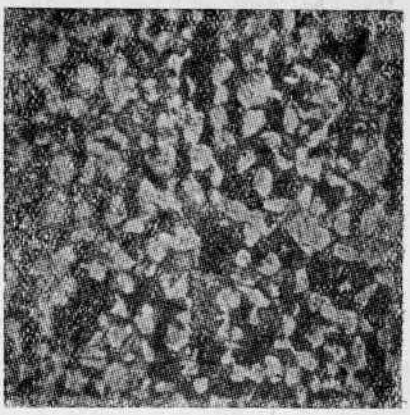
При быстром охлаждении β-фазы выделение α прекращается, и микроструктура (фиг. 86) обнаруживает большое количество β-кристаллов, которые при обыкновенной температуре обладают хрупкостью и твердостью. Наоборот, при высоких температурах β-кристаллы отличаются особой текучестью и пластичностью, что дает возможность производить их формоизменение при температурах выше линии *CD*, т. е. при наличии только β-кристаллов с очень малым сопротивлением.



Фиг. 85. Диаграмма состояния системы Cu—Zn—Pb (по Бауэру и Ганзену)

Изучая строение полученных при прессовании, как указано выше, при 720° прутков, видим, что пруток по длине делится на три части с различным структурным строением, что объясняется происходящим в процессе прессования охлаждением слитка. Первая треть прутка прессуется при температуре, которую слиток получил в нагревательной печи, т. е., при-

Фиг. 86. Строение (α + β)-латуни, быстро охлажденной из β-фазы. × 100



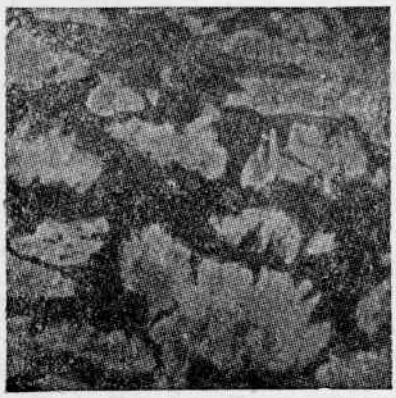
Фиг. 87. Глобулярное зернистое строение (α + β)-латуни. × 100

мерно при 720° или при β-фазе. После выхода прутка из матрицы начинается при охлаждении его выделение кристаллов α-фазы. Кристаллы в прутке имеют возможность хорошо выкристаллизоваться, и штамповка (см. фиг. 84, *а*) показывает нормальное игольчатое строение латуни (α + β), при котором игловидные α-кристаллы обнаруживают достаточную вязкость в основной хрупкой

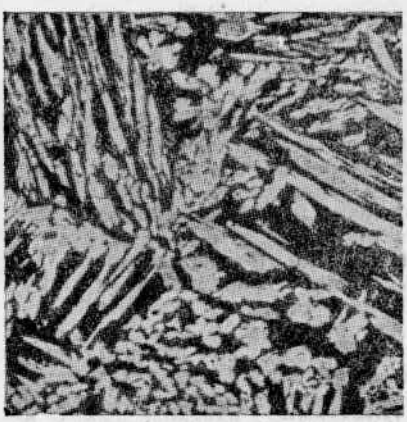
β-массе; механические свойства такого вещества оказываются хорошими, и штамповка (фиг. 83, *а*) получается чистой.

Середина прутка при работе с длинными слитками вследствие охлаждения слитка в контейнере была отпрессована как раз на границе линии *CD* или немного выше, или чуть ниже ее. В зависимости от этого получается большее или меньшее количество выделившихся (α + β)-кристаллов или оставшихся β-кристаллов, а отсюда в прутке (фиг. 84, *b*) получается бо́льшая или меньшая вытянутость кристаллов в направлении прессовки или нормальная игольчатая структура (см. фиг. 84, *а*).

Последняя треть прутка прессовалась уже при температуре ниже линии *CD* превращения β в (α+β). Слиток получил игольчатую (α+β)-структуру еще в контейнере. При прохождении через матрицу α-иглы расщепляются на мелкие частицы, сжимающиеся благодаря сильному давлению в комочки, и в результате получается структура (фиг. 84, *с* при 40-кратном и фиг. 87 при 100-кратном увеличении), состоящая в основной массе из β-кристаллов с круглыми глобулярными выделениями α-кристаллов. Совершенно ясно, что материал с таким «бесформенным» строением не может иметь хорошие механические свойства и является в сущности браком, так как он хрупок. Получающиеся при этом трещинки всегда проходят (фиг. 88) через хрупкие при низкой температуре β-кристаллы, не пересекая нигде вязких α-кристаллов.



Фиг. 88. Трещина через хрупкие β-кристаллы. × 500



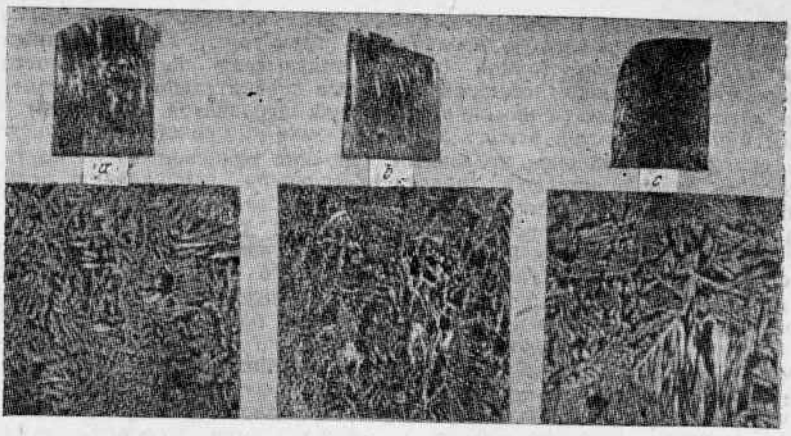
Фиг. 89. Нормальное игольчатое строение (α + β)-латуни. × 100

Таким образом устанавливаем, что процесс прессования (α + β)-латуни, при высоких температурах переходящей в β-фазу, подобно сказанному выше в отношении латуни Л-61, нужно вести так, чтобы температура прессуемого изделия до выхода из матрицы не падала ниже линии *CD* перехода β в (α+β), а лучше для обеспечения надлежащих качеств изделия не доходила до этой линии на 10—20°.

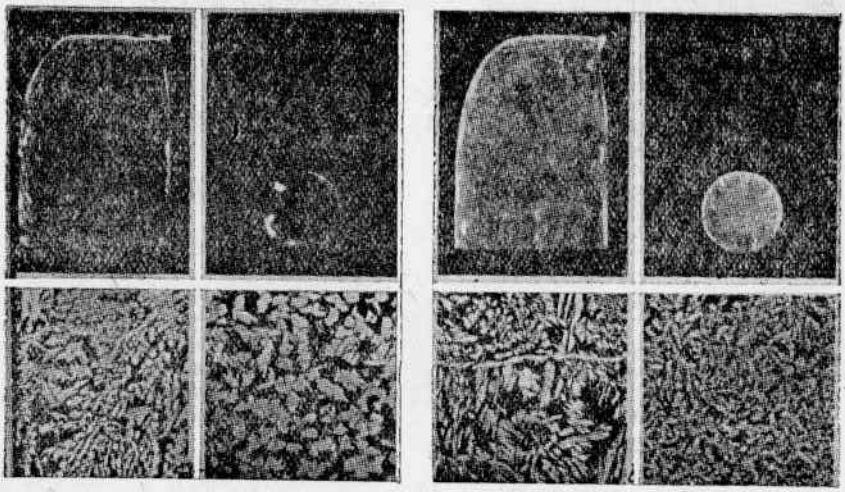
Можно ли в случае ошибки и получения в результате этого недоброкачественного изделия с глобулярным строением (см. фиг. 87) привести его к нормальной для (α + β)-латуни игольчатой (фиг. 89) структуре?

Обычно на практике в таких случаях простейшим методом является термическая обработка при температуре выше линии *CD*. На фиг. 90 показан результат такого «исправления» структуры путем отжига при 750° в течение получаса. Более или менее мелкое игольчатое строение теперь имеется во всей длине прутка, т. е. материал стал более однородным, но при этом получилось замечательное явление: середина и конец прутка, в особенности по краям, дают крупную кристаллизацию. В среднем сечении строение несколько напоминает картину, получающуюся при протяжке прутков, — небольшая вытяжка с последующим недостаточным отжигом, — в то время как в конечном сечении на поверхности ясно видны крупные кристаллы (α + β). Отсюда можно сделать заключение, что поверхностная зона конца прутка при прохождении через матрицу приобрела совершенно другую температуру и подверглась иному, более сильному формоизменению, чем середина.

Если такие отрезки от конца прутка с крупными (α + β)-зернами нагреть до 750° для штамповки на готовое изделие, то по окружности его мы получим крупные кристаллы и трещинки такого же характера, как мы видели уже на фиг. 83, *b*.



Фиг. 90. Прессованные латунные прутки. Отжиг при 750° в течение получаса. × 40: *a* — начало; *b* — середина; *c* — конец прутка



a *b*

Фиг. 91. Концы латунных прутков. × 75: *a* — концы двух латунных прутков диаметром 50 и 20 мм с глобулярно-зернистой структурой, отожженных при 750° в течение получаса; *b* — концы двух латунных прутков диаметром 50 и 20 мм с глобулярно-зернистой структурой, отожженных при 900° в течение получаса

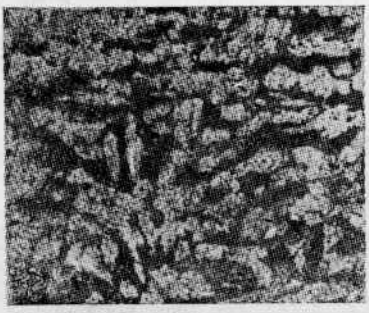
Приведенные примеры показывают, что переделать глобулярно-точечное кристаллическое ($\alpha+\beta$)-строение на нормальное игольчатое не так просто. Доказательством этому служат также описанные ниже опыты. На фиг. 91, *a* изображено два конечных сечения отпрессованного прутка с ясно выраженной глобулярной ($\alpha + \beta$)-структурой, одинаково отожженных в течение получаса при 750°. После отжига толстое сечение диаметром 50 мм получило внутри почти нормальную игольчатую ($\alpha + \beta$)-структуру, хотя по окружности можно заметить и крупнокристаллическое строение. В то же время пруток тонкий диаметром 20 мм показывает все еще глобулярное игольчатое ($\alpha + \beta$)-строение с крупными кристаллами по окружности; середина его остается круглозернистой, какой почти была и до термической обработки.

Ввиду того, что деформация более тонкого прутка была, несомненно, более сильной, чем толстого, процесс рекристаллизации здесь протекает значительно медленнее, — показатель, что степень деформации круглозернистой ($\alpha+\beta$)-структуры имеет очень большое влияние на продолжительность процесса рекристаллизации: чем мельче раздробленность глобулей, тем процесс их рекристаллизации более длительный. Дальнейшее подтверждение этого дает фиг. 91, *b*, изображающая два таких же концевых отрезка, имевших глобулярно-зернистую

структуру, отожженных в течение получаса даже при 900°. Толстый отрезок имеет внутри ясно выраженную игольчатую структуру с более крупными кристаллами по окружности; тонкий образец показывает по поверхности более крупнозернистое строение, середина остается сравнительно мало измененной; частично здесь наблюдается начало образования игольчатой структуры.

Таким образом простой отжиг, даже при такой высокой температуре, как 900°, не мог дать нормальное игольчатое строение концевой части прутка для этого состава латуни, имевшей после прессования глобулярную структуру. Дальнейшие работы показывают, что достигнуть этого можно только очень сложной термической обработкой, о чем говорится далее.

Для выяснения того, при каких условиях получается глобулярная мелкозернистая структура ($\alpha + \beta$)-латуни, из отпрессованного прутка брали предварительно исследованный совершенно доброкачественный кусок, имеющий нормальную игольчатую структуру ($\alpha + \beta$)-латуни, и затем различной термической обработкой переводили ее в зернистую — глобулярную. Для опытов брали прутки диаметром 13 мм; их разрезали в холодном состоянии на небольшие цилиндрики, которые подвергали отжигу при различных температурах в течение 1 часа в электрической печи и охлаждали на воздухе. Оказалось, что при длительном отжиге при температуре около 600°, т. е. ниже линии перехода $(\alpha+\beta)$ в β,



Фиг. 92. Начинающееся переформирование нормальной игольчатой структуры $(\alpha+\beta)$-латуни в результате отжига в течение часа при температуре 610° с охлаждением на воздухе. × 180

Фиг. 93. Сформировавшаяся глобулярная структура в результате отжига при 700° с охлаждением на воздухе нормальной игольчатой структуры ($\alpha + \beta$)-латуни. × 180

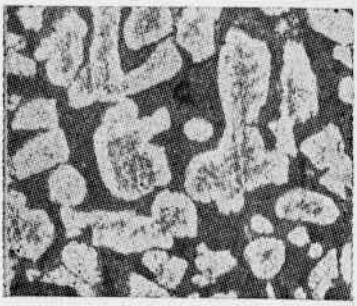
α-кристаллы теряют свою игольчатую форму и превращаются в круглые зерна (фиг. 92 и 93). То же получается при более длительном отжиге даже при менее высокой температуре (например 5 час. при 500°). После нагревания выше линии превращения CD (см. фиг. 85) при охлаждении на воздухе прутков малого диаметра, т. е. при быстром охлаждении, получается опять игольчатая ($\alpha + \beta$)-структура. Таким образом глобулярную зернистую ($\alpha + \beta$)-структуру можно получить длительным нагреванием ниже линии превращения независимо от того, какой эта структура была в исходном состоянии. Например, отрезок указанного выше прутка отжигали в течение 1 часа при температуре выше линии CD и быстро охлаждали в воде. При таком охлаждении превращение β-кристаллов в $(\alpha+\beta)$ было невозможно, и структура состояла из твердых β-кристаллов и немногих выделений α по границам зерен. Нагрев же этого образца в течение 1 часа при температуре 610° дал определенную крупнозернистую глобулярную $(\alpha+\beta)$-структуру (фиг. 94).

Крупнозернистую структуру можно также получить очень медленным охлаждением прутка после отжига при температуре даже выше линии CD. Так, если отжечь пруток при 760°, т. е. выше линии перехода β в $(\alpha+\beta)$, но охлаждение дать очень медленное, например вместе с печью, то получим крупнозернистую структуру, как на фиг. 95. Но такой же брусок после одновременного нагрева с первым в течение 1 часа при 760°, охлажденный быстро на воздухе, дает прекрасно выраженную игольчатую $(\alpha + \beta)$-структуру (фиг. 96). Исследование структуры показало, что и в первом случае после нагрева бруска выше линии превращения β в $(\alpha+\beta)$ была игольчатая структура, но так как охлаждение шло очень медленно, то запас тепла в образце был такой значительный, что α-иглы коагулировали в круглые зерна.

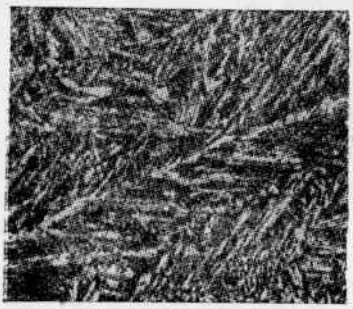
Таким образом зернистую глобулярную структуру можно получить либо длительным нагревом ниже линии CD перехода β в $(\alpha + \beta)$, либо и при быстром

нагреве выше этой линии, но при очень медленном охлаждении. Отсюда должен быть сделан вывод, что нагревать слитки и отжигать прутки, трубы и прочие изделия из латуни следует быстро при возможно высокой температуре, обеспечивающей, конечно, надлежащее качество изделий, а охлаждение их после прессования вести не быстро, но и не замедленно, так как быстрое охлаждение зафиксирует β-структуру, которая не позволит вести после прессования холодную протяжку без отжига, а замедленная повлечет за собой образование хрупкой глобулярной зернистой структуры, которая сделает невозможной дальнейшую

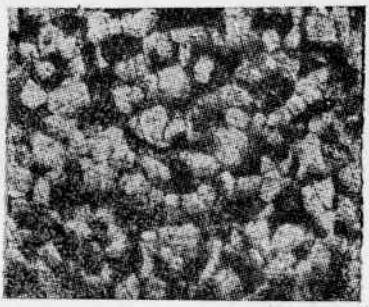
Фиг. 94. Сформировавшаяся глобулярная структура в результате отжига при 820° в течение 1 часа с последующей закалкой и отжигом при 610° нормальной игольчатой структуры $(\alpha+\beta)$-латуни. × 180



Фиг. 95. Сформировавшаяся глобулярная структура в результате отжига при 760° и медленного охлаждения с печью прутка с нормальной игольчатой структурой $(\alpha+\beta)$-латуни. × 180



Фиг. 96. Нормальная игольчатая структура $(\alpha+\beta)$-латуни, получившаяся после отжига при 760° и охлаждения на воздухе прутка с нормальной игольчатой структурой $(\alpha+\beta)$-латуни. × 180



Фиг. 97. Рекристаллизованная глобулярная $(\alpha+\beta)$-структура (видны двойники в α-зернах). × 360

обработку изделия и повлечет за собой его забраковку. С другой стороны, отсюда также следует, что при прерывной работе загружать в холодную печь для нагрева слитки или для отжига изделия из $(\alpha+\beta)$-латуни с вечера, как делают на некоторых заводах, с тем, чтобы металл медленно за ночь прогрелся вместе с печью, а перед началом работы только доводился до надлежащей температуры, совершенно недопустимо. Металл при этом получает глобулярную структуру, которую, как показано выше, простым нагревом разрушить почти невозможно, а потому дать более или менее доброкачественное изделие он не может.

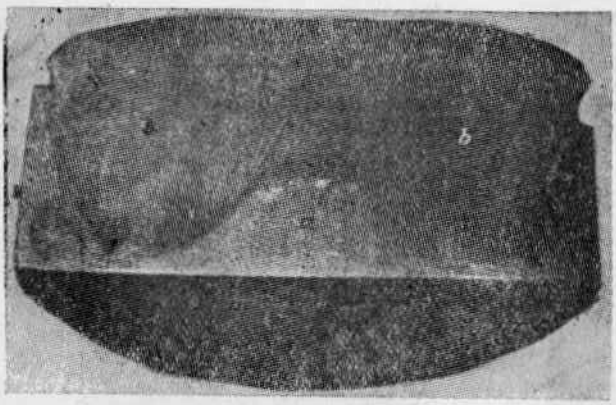
Необходимо заметить, что полученная искусственно при такой термической обработке кристаллическая структура несколько отличается от действительно получающейся на практике при прессовании. Эти первые α-кристаллы (т. е. полученные термической обработкой) очень крупные, во-первых, и, во-вторых, в получающейся структуре совершенно отсутствуют двойниковые кристаллы, ко-

торые, наоборот, очень часты в структуре зернистой, получаемой после прессования.

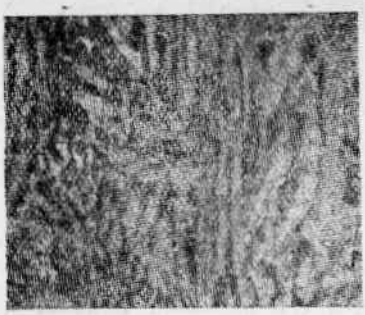
На фиг. 97, показана действительная глобулярная зернистая ($\alpha+\beta$)-структура полученного прессованием конца прутка при большом увеличении ($\times$ 360). Здесь зерна значительно меньше, чем получавшиеся ранее (фиг. 95) искусственно при термической обработке, кроме того, здесь можно заметить наличие двойниковых кристаллов, которые, как известно, получаются обычно в результате деформации.

Таким образом мы устанавливаем, что причина получения зернистого глобулярного строения ($\alpha+\beta$)-кристаллов на концах прутков лежит в рекристаллизации после окончания холодно законченного ниже линии перехода β в ($\alpha+\beta$) прессования. В начале прессования температура слитка выше этой линии, почему при довольно быстром охлаждении у прутка по выходе из матрицы получается игольчатое строение. В конце прессуется слиток уже значительно остывший, и температура его ниже линии превращения β в ($\alpha+\beta$). Поэтому при прохождении через матрицу и охлаждении получается, благодаря сильному давлению при прессовании холодноватого материала, мелкозернистая структура с наличием двойниковых кругловатых α-кристаллов.

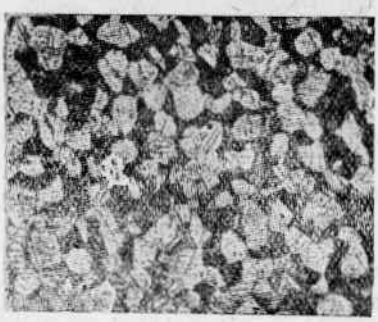
Такой вывод подтверждает рассмотрение структуры остатка слитка в контейнере, обычно имеющего вид, показанный на фиг. 98. Исследования показывают, что при прессовании части слитка V_1 и V_2 подвергаются сильной деформации, а часть V_3 не подвергается. Зона *a* остатка слитка (фиг. 98), представляющая объем V_3, прилегающая к холодной прессшайбе, подвергается очень слабой деформации, наоборот, зона *b* подвергается сильной деформации.



Фиг. 98. Остаток слитка в контейнере пресса: *a* — игольчатая структура ($\alpha+\beta$)-латуни; *b* — зернисто-глобулярная



Фиг. 99. Игольчатая ($\alpha+\beta$)-латуни структура из зоны *a* на фиг. 98. $\times$ 180



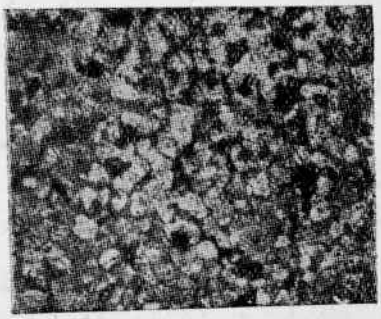
Фиг. 100. Рекристаллизованная глобулярная структура ($\alpha+\beta$)-латуни из зоны *b* на фиг. 98 (видно образование двойников). $\times$ 360

Поэтому, если верно приведенное выше предположение, что глобулярно-зернистая ($\alpha+\beta$)-структура возникает из уже выделившихся в контейнере пресса α-игл, которые при сильном обжатии превращаются в рекристаллизованную зернистую структуру, то мы должны в части *a* иметь игольчатую ($\alpha+\beta$) структу-

ру, а в части *b* — мелкозернистую с двойниковыми кристаллами. В действительности это так и есть. На фиг. 99 мы видим, что в зоне *a* ($\alpha+\beta$)-структура игольчатая, а фиг. 100 показывает рекристаллизованную мелкозернистую с ясно видимыми двойниковыми кристаллами ($\alpha+\beta$)-структуру зоны *b*. Отсюда понятно, что получаемая в концах прессованных латунных (Л-58) прутков зернистая глобулярная ($\alpha+\beta$)-структура является результатом рекристаллизации и механического разрушения возникших уже в слитке игольчатых α-кристаллов, почему эти кристаллы мелкие и имеют двойные зерна.

Восстановить полученную в конце прутка рекристаллизованную, глобулярно-зернистую ($\alpha+\beta$)-структуру в нормальную игольчатую очень трудно. Опыт показывает, что для этого требуется весьма сложная термическая обработка. Отжиг надо вести при температуре выше линии перехода β в ($\alpha+\beta$) и затем пруток быстро охладить на воздухе; так проделать один-два раза и, наконец, дать нормальный отжиг. Нужно помнить, что медленное охлаждение вновь приведет к зернистой ($\alpha+\beta$)-структуре, но уже без двойников в α-фазе, так как при таком отжиге α-фаза поглощается β-фазой и при охлаждении начинается совершенно новое выделение уже вторичных α-кристаллов. Если отжиг вести при температуре ниже линии перехода β в ($\alpha+\beta$) недостаточно продолжительное время, то зернистая структура сохраняется, только α-зерна несколько возрастают, и так как рекристаллизация еще не произошла, двойники сохраняются (фиг. 101).

Для полного поглощения α-фазы β-фазой потребное время зависит от исходной структуры: игольчатая структура требует меньшего времени; наоборот, зернистая — значительно более продолжительного. Например, образцы с игольчатой и зернистой ($\alpha+\beta$)-структурой, нагретые до 800° в течение 8 мин., затем быстро охлажденные в ледяной воде, вторично нагретые в течение 1 мин. до 800°, отожженные и также охлажденные и в третий раз снова после нагрева в течение 3 мин. отпущенные и закаленные, показали, что при игольчатой структуре уже после первой закалки после нагрева до 800° получались только β-кристаллы, при зернистой же после первой закалки оставалось большое количество α-кристаллов, после второй находили еще остатки α и лишь после третьего отжига в течение 3 мин. получалась структура из одних β-кристаллов. Таким образом на рекристаллизацию зернистой ($\alpha+\beta$)-структуры требуется значительно больше времени, чем для игольчатой, о чем надо всегда хорошо помнить. Объясняется это тем, что процесс растворения α-фазы идет от поверхности зерен к центру, а так как отношение поверхности к массе зерна при игольчатом строении значительно больше, чем у круглого зерна, то, естественно, процесс растворения последних и требует значительно большего времени, чем при игольчатой структуре.



Фиг. 101. Рекристаллизованная глобулярно-зернистая ($\alpha+\beta$)-структура (отжиг при 650°; образование двойников в α-зернах). ×360

Соответственно указанной выше разнице в строении начальной и конечной частей прессованного латунного прутка или трубы получается, конечно, разница и в механических свойствах (табл. 5) этих частей.

Из данных этой таблицы видно, что материал в заднем конце труб латуни Л-60 имеет значительно более высокое временное σ_b, наоборот, меньшее удлинение в % и ударную вязкость ρ, но зато значительно бо́льшую твердость. Медь электролитическая и мышьяковистая и такие ее сплавы, как алюминиевая бронза с 4% Al, у которых структура при охлаждении не меняется так резко как у латуни, не показывают ухудшения механических свойств на концах труб. Хотя структура здесь, так же как и у латуни, получается более мелкая, но все же удлинение и ударная вязкость не только не падают, а имеют (за исключением одного случая) даже более высокие значения. В одном случае (Cu + As) ударная вязкость на заднем конце (16 кгм/см²) меньше, чем на переднем (30 кгм/см²), но это может быть объяснено, повидимому, только случайным недостатком образца.

Еще более подробные данные[1] об изменении механических свойств (твердость по Бринелю и ударная вязкость) по длине латунных (60% Cu) труб приведены в табл. 6.

[1] Siebe, Extrusion of Copper and Copper Alloys and Properties of Extruded Rods, «The Metal Industry», London, 1930, 19 December, p. 577—580.

Таблица 5

Свойства прессованных труб из разных сплавов

Металл	Временное сопротивление, кг/мм²		Удлинение %		Ударная вязкость кгм/см²		Твердость по Бринелю 2,5/62,5	
	переднее	заднее	переднее	заднее	переднее	заднее	переднее	заднее
Твердотянутая латунь Л-60 . .	60,2	68,3	36,0	30,5	5,6	1,8	94	104
Электролитическая медь твердотянутая	35,0 26,0	34,4 31,0	37,3 31,0	38,4 32,2	10,5 —	11,2 —	— —	— —
Al бронза (4%), отожженная при 800° в течение 1 часа	50,3 50,3	48,6 49,7	52,0 51,0	53,0 53,0	17,0 —	22,0 —	— —	— —
Cu + As твердотянутая	37,0	37,8	37,5	38,5	30,0	16,0[1]	—	—
Отожженная при 750° в течение 1 часа	27,7	28,5	29,0	30,5	—	—	—	—

[1] Этот результат является, повидимому, случайным.

Таблица 6

Изменения твердости и вязкости по длине латунных (Л-60) труб

Расстояние от переднего конца, м	H_B 5/250	Ударная вязкость кгм/см²	Излом	Расстояние от переднего конца, м	H_B 5/250	Ударная вязкость кгм/см²	Излом
Передний конец	91	5,6	Крупно-кристаллический	12	97	3,2	Мелкокристаллический
	91	5,5			98	3,2	
2	91	5,7					
	93	5,7					
4	92	5,4		18	100	2,3	
	93	5,6			97	2,5	
6	95	5,1		20	100	2,3	
	94	5,4			100	2,2	
8	94	4,6	Средне-кристаллический	22	100	2,1	Начинается мелкозернистое глобулярное строение
	92	4,6			99	2,2	
				24	100	2,5	
					104	1,5	
10	95	4,1		26	103	1,9	Совершенно мелкокристаллический
	95	3,9			108	2,0	
				28	108	2,0	
					112	2,1	

Из таблицы следует, что твердость по Бринелю от переднего конца трубы к заднему последовательно возрастает, имея на конце увеличение на

$$\frac{112-92}{92}\times 100 = 21{,}7\%,$$

а ударная вязкость падает на $\frac{5{,}6-2{,}1}{5{,}6}\times 100 = 62{,}5\%$.

Игольчатое в начале трубы нормальное для латуни Л-60 строение наблюдается, постепенно ухудшаясь, на длине, примерно, до 22 м. Начиная с этой длины до конца, все более устанавливается мелкозернистая глобулярная структура, причем в начале этого участка иногда мелкие глобулярные кристаллы заметны только по поверхности, где деформация, естественно, больше, а внутри наблюдаются еще игольчатые кристаллы.

Легкие сплавы

При прессовании алюминиевых и магниевых сплавов приходится наблюдать, хотя и в менее резко выраженной форме, те же явления неравномерной по сечению прутка кристаллизации, которые были отмечены выше в латуни (см. фиг. 84 и 90). Кристаллиты наружной зоны, соприкасающиеся к тому же с очком матрицы непосредственно, подвергаются более сильному дроблению, чем среднего ядра прутка, причем это дробление, естественно, возрастает по направлению к прессостатку. Поэтому при термической обработке в наружной зоне кристаллиты получают всегда более крупное зерно, чем в средней части. При прессовании со смазкой такой резкой неоднородности не замечается, структура прутка и по сечению, и по длине получается более однородная, а длина слабо деформированной передней части сокращается. Но зато поверхность прутка на вид получается значительно хуже: она покрыта остатками смазки, графитом, сажей, окислами, местами налипшей пленкой, иногда глубиной до 3—5 мм и т. д. Такие прутки приходится обтачивать, снимая указанный слой.

Совершенно понятно, что в связи с изменением структуры прутка механические его свойства по длине также разнятся. Например, пруток дуралюмина, отпрессованный прямым методом без смазки, имел после закалки в передней части временное сопротивление $\sigma_b = 52$ кг/мм² и относительное удлинение $\varphi = 16\%$, а в задней на расстоянии 5,5 м $\sigma_b = 45$ кг/мм² и $\varphi = 14\%$ [1].

При обращенном методе прессования дуралюмина дробление наружных кристаллитов и рост их при последующей термической обработке, конечно, тоже имеет место, но, во-первых, зона их распространения менее глубока и, во-вторых, совершенно почти одинакова по всей длине прутка. Весь пруток получается более однородным.

Медь, алюминий, медноникелевые сплавы

Изделия из таких металлов, как медь, алюминий или таких сплавов, как медноникелевые и пр., не имеющих фазовых превращений или резких переломов на кривых резильянса или сжатия поперечного сечения, заметной разницы в строении и в механических свойствах по длине выпрессованного изделия не обнаруживают (см. табл. 5), поэтому вопрос с выбором надлежащей температуры для прессования в этом случае решается значительно проще: здесь нужно только не перегреть металл, с одной стороны, и не попасть в зону пониженной пластичности, с другой.

Резюмируя сказанное в настоящем разделе, можно сделать следующие практические выводы:

1. Вопросу выбора температуры прессования должно быть уделено самое серьезное внимание, учитывая, что перегрев слитка и наличие повышенной температуры при прессовании влечет за собой брак изделия, а слабый нагрев ведет в некоторых случаях также к порче изделия и вызывает необходимость дополнительного отжига.

2. Особо серьезное внимание должно быть обращено на установление температуры прессования латуни, как материала, особо капризного в этом отношении, во избежание получения изделия негодного при повышенной температуре обработки и пестрого по структуре и механическим свойствам при пониженной. Исправить такую разноструктурность практически почти невозможно и во всяком случае затруднительно.

3. Температура прессования должна устанавливаться на основе диаграммы состояния и кривых резильянса или лучше сжатия поперечного сечения при разрыве.

4. Для α-латуни такого состава, при наличии которого она при высоких температурах находится в (α + β)-фазе, или для (α + β)-латуни такого состава, когда при высоких температурах она переходит в β-фазу, температуры прессования должны быть так выбраны, чтобы процесс проходил в одной фазе и заканчивался на 10—20° выше линии фазового превращения.

5. Посадка слитка латуни в печь для нагрева или изделий из нее для отжига должна производиться при надлежащей температуре, и

[1] Справочник-каталог по деформированным легким сплавам. Изд. Металлообрабатывающего завода, 1940, стр. 57, фиг. 28.

процесс нагрева должен вестись достаточно быстро во избежание получения крупнокристаллического глобулярного ее строения.

6. При работе с такими сплавами, как дуралюмин, электрон и пр., слитки после достижения определенной температуры должны быть выдержаны достаточно продолжительное время (гомогенизация) для перевода сплава в твердый раствор. Время выдержки на основе практики наших и заграничных заводов указано далее, в главе III.

7. При установлении температуры прессования должны быть учтены площадь сечения и форма очка матрицы. Чем меньше будет сечение и больше периметр по отношению к нему, тем температура должна быть взята выше для компенсации охлаждающего влияния периметра матрицы.

Нормально применяемые при прессовании различных металлов и сплавов средние температуры указаны далее в разделе 1 и 4 главы III, посвященной изучению практических вопросов прессования и результатов этой работы.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМАЛЬНОЙ СТЕПЕНИ ДЕФОРМАЦИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЛЕЖАЩИХ КАЧЕСТВ ПРЕССУЕМОГО ИЗДЕЛИЯ

Обозначим сечение контейнера или запрессованного слитка (при прессовании трубы это сечение запрессованного, прошитого или полого слитка) через F и прутка (профиля или трубы) через f. Тогда отношение $\delta = \frac{F-f}{F} \cdot 100\%$ представляет собой относительную степень обжатия или, как его называют иначе, — степень деформации. Совершенно понятно, что, если разница $F-f$ будет равна нулю, т. е. никакого обжатия не будет, то изделие во всем своем сечении будет иметь литейную структуру слитка, не деформированную. При небольшой величине разницы $F-f$ обжатие будет недостаточным для того, чтобы деформация проникла глубоко во все сечение. Она будет только поверхностной, а отсюда и механические качества материала в наружной зоне и в центре выпрессованного изделия должны более или менее разниться. Только при какой-то довольно высокой степени деформации такая разница между наружной и внутренней частью изделия станет незначительной, весь материал будет хорошо насквозь продеформирован и будет однородным в сечении по механическим качествам.

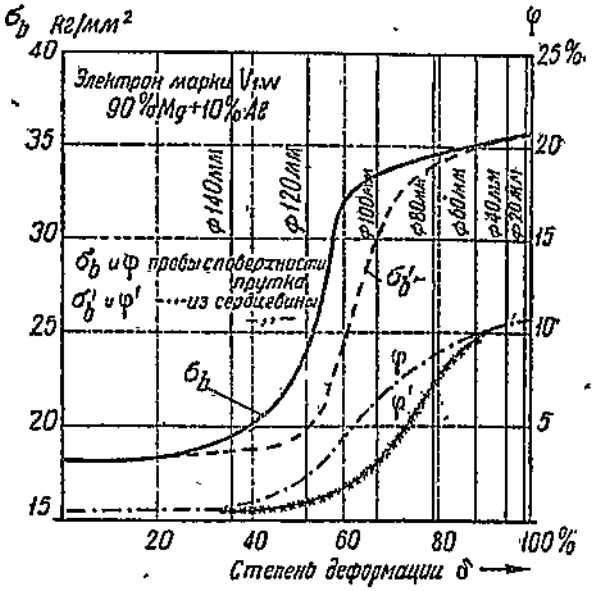
Работа для выяснения минимально возможной степени деформации была проведена на сплаве состава 90% Mg и 10% Al. Нормально этот сплав применяется только в прессованном виде. Его механические свойства в литом состоянии таковы: сопротивление разрыву $\sigma_b = 12$ кг/мм² и удлинение $\varphi =$ около 1%. При правильной степени обжатия с надлежащей последующей обработкой $\sigma_b = 36$ кг/мм² при $\varphi = 12\%$.

Опыт был проведен со слитками диаметром 175 мм, из которых прессовались прутки разного диаметра с обжатием от нуля и до

$$\delta = \frac{F-f}{F} \cdot 100 \approx 100\%.$$

Из наружной и внутренней полостей получаемых прутков брали образцы на разрыв, причем определяли временное сопротивление σ_b и удлинение φ. Результаты исследования даны на диаграмме фиг. 102, в которой по оси абсцисс отложены относительные обжатия, или степень деформации δ в процентах, а по оси ординат, слева — временное сопротивление σ_b в килограммах на квадратный миллиметр и справа — удлинение φ в процентах.

На диаграмме видим, что вначале, пока степень обжатия δ не достигла 20%, сопротивление в наружных и внутренних зонах σ_b' прутков одинаково. Удлинение φ имеет одинаковую ($\varphi_{нар} = \varphi'_{внутр}$) величину до обжатия около 35%. После указанных пределов разница в этих величинах возрастает, достигая максимума для σ_b при 60%-ном обжатии и для φ при 67%-ном (диаметр прутка 100 мм), затем снова падает и становится равной нулю при степени обжатия около $\delta = 92\%$ (диаметр прутка около 50 мм).



Фиг. 102. Изменение механических свойств электрона с 90% Mg+10 Al при прессовании в зависимости от степени обжатия

Практика показывает, что этот вывод относится одинаково ко всякому материалу, и потому степень обжатия $\delta = 92\%$ должна быть признана для всех материалов за минимальный предел для получения в прессуемом изделии надлежащих механических свойств во всей его толще.

Так как в большинстве случаев при прессовании принято задаваться не относительным обжатием δ, а коэфициентом обжатия $k = \frac{f}{F}$ или чаще вытяжкой $\lambda = \frac{F}{f}$, то, пересчитав, найдем, что величины k и λ нормально должны быть не менее:

$$\delta = \frac{F-f}{F} = 1 - \frac{f}{F} = 1 - k = 0{,}92,$$

$$k = 1 - \delta = 1 - 0{,}92 = 0{,}08, = \frac{1}{12{,}5}$$

или

$$\lambda = \frac{F}{f} = \frac{1}{0{,}08} = 12{,}5.$$

На практике обычно и принимаются значения $\delta_{min} = 92$—94% или $\lambda_{min} = 12$—15, если речь идет о готовом, а тем более ответственном изделии.

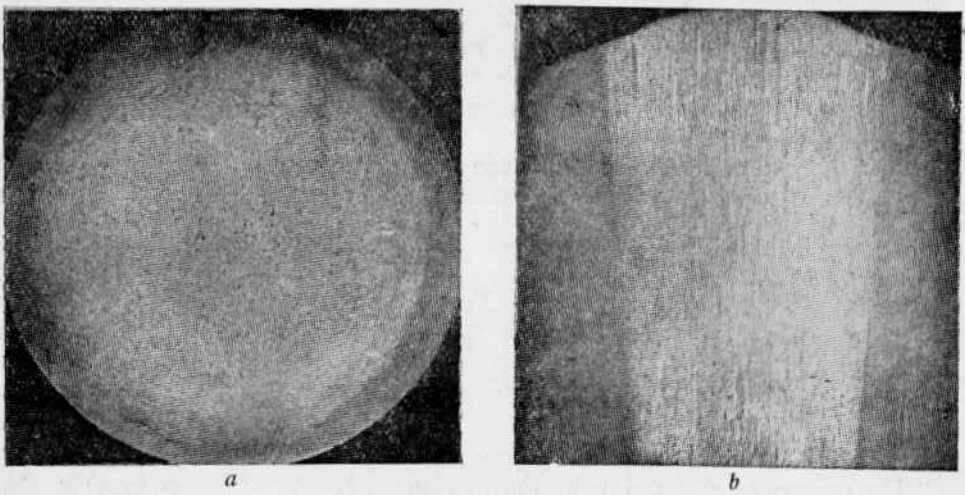
Допустимым еще минимальным обжатием, при котором механические свойства изделия получаются достаточно одинаковыми, считается $\delta = 85\%$, что дает $k \approx 1:7$ и $\lambda = 7$.

При прессовании с меньшими обжатиями, как указано выше, металл получается в поперечном сечении недостаточно проработанным по всему сечению и потому неоднородным и, кроме того, чрезвычайно крупнозернистым, не обеспечивающим нормальных для данного металла свойств изделий.

Если полученный с горизонтального пресса пруток идет на трубную заготовку для вертикальных прессов или на заготовку для кузнечных и других работ, в которых подвергается вторично значительной деформации, то при первом прессовании можно ограничиться и меньшим обжатием (однако все же желательно не меньшим чем 75—80%) или вытяжкой не менее 4—5-кратной.

П. А. Сарычев в указанной выше работе «Истечение алюминиевых сплавов при прессовании»[1] пришел к подобному же заключению. Он установил, что при прессовании дуралюминовых прутков диаметром 25—35 мм из контейнера диаметром 170 мм, т. е. когда $\delta = 96{,}5$—92% или $\lambda = 26$—$12{,}5$, все 100% прутков были вполне удовлетворительного качества. При прессовании прутков диаметром 35—75 мм из контейнера диаметром 200 мм при вытяжке λ от 31,4 до 7,1 или $\delta = 97$—$86{,}5\%$ испытания дали такие же результаты, как и испытания прутков диаметром 25—35 мм из контейнера диаметром 170 мм. Прутки диаметром 90—95 мм, выпрессованные из контейнера диаметром 280 мм с вытяжкой $\lambda = 9{,}7$—$8{,}75$ или $\delta = 90$—$88{,}5\%$ и диаметром 145 мм из контейнера диаметром 370 мм при $\lambda = 6{,}5$ или $\delta = 85\%$, давали удовлетворительные результаты. Прутки же диаметром свыше 95 и до 145 мм, выпрессованные из контейнера диаметром 280 мм с вытяжкой $\lambda = 7{,}8$—$3{,}75$ или $\delta = 87{,}2$—$73{,}2\%$, давали весьма неблагоприятные результаты. На фиг. 103, *a* и *b* даны поперечный и продольный разрезы прутка диаметром 120 мм, отпрессованного из контейнера диаметром 280 мм ($\lambda = 5{,}45$). Разница между деформированной наружной и недеформированной внутренней зоной видна совершенно ясно.

Результаты полностью подтверждают выводы, сделанные для электрона.



a *b*

Фиг. 103. Разрезы прутка дуралюмина:
a — поперечный разрез прутка дуралюмина диаметром 120 мм, отпрессованного из контейнера $D_k = 280$ мм ($\lambda = 5{,}45$); метод прессования прямой;
b — продольный разрез того же прутка

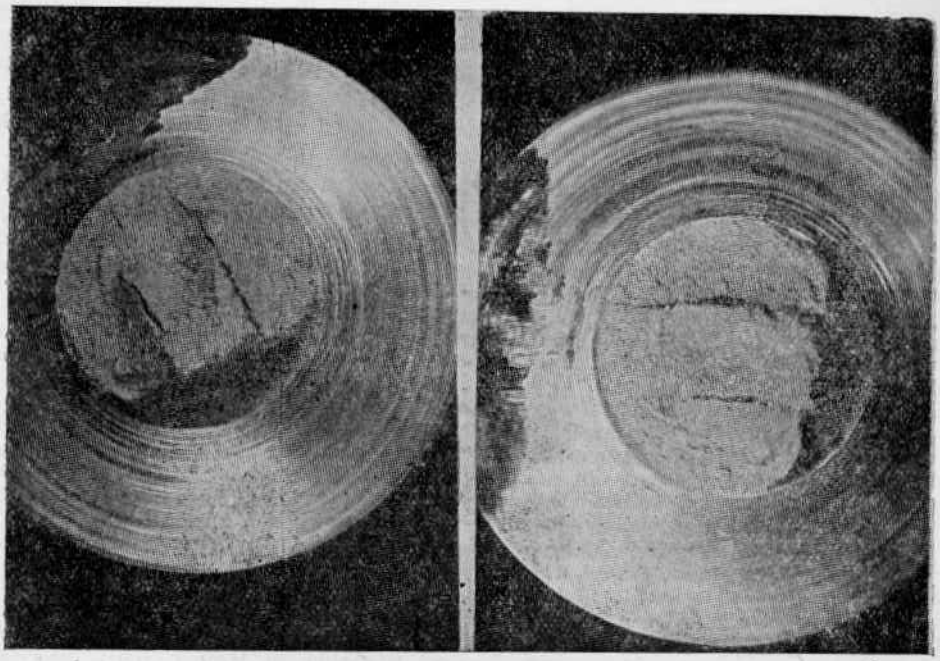
Для изучения влияния на качество изделия повторной деформации П. А. Сарычев брал слитки диаметром 280 мм, пропрессовывал их на прутки диаметром 170 мм ($\lambda = 2{,}7$ или $\delta = 63\%$), которые далее служили исходным материалом для прессования прутков диаметром 45 мм $\lambda = 14{,}3$ и $\delta = 93\%$. Все полученные изделия имели идеальную мелкозернистую структуру, что совершенно понятно, ибо общая вытяжка была $\lambda = 38{,}7$ или общая степень деформации $\delta = 97{,}5\%$.

Испытание производили, ломая прутки, причем неравномерность деформации по поперечному сечению прутков резко сказывалась на изломе уступами: отделялась зона деформированная от мало проработанной. Это хорошо видно на фотографии (фиг. 104). К сказанному следует добавить, что при прессовании с малым обжатием ($\lambda = 4$ и ниже) деформированная зона получается настолько тонкой, что при работе не с пониженной, а с нормальной для данного сплава ско-

[1] Оборонгиз, 1940.

ростью, вследствие большой разницы в прочности прутков снаружи и внутри на поверхности их получаются прорывы как бы тонкой наружной пленки, которую можно легко отделить от внутренней части прутка.

Что касается предельно возможных больших обжатий, то они всецело зависят от мощности пресса, допустимых напряжений в инструменте и пластичности металла при различных температурах и потому, естественно, бывают выше у прутков и меньше у профилей, а еще



Фиг. 104. Поперечный разрез с изломом прутка дуралюмина диаметром 125 мм, отпрессованного из контейнера $D_к = 280$ мм ($= 5{,}03$)

меньше у труб, так как у труб охлаждающее действие матрицы снаружи и иглы изнутри, конечно, весьма быстро снижает температуру и пластичность прессуемого материала. Кроме того, следует иметь в виду, что сопротивляемость деформации различных металлов и сплавов различна. Обычно δ_{max} на практике применяется не выше 97—98%, так как далее очень быстро растет величина потребного давления, и потому мощность пресса может оказаться недостаточной.

По сопротивляемости деформации металлы и сплавы могут быть разделены на следующие четыре класса:

1) легко прессуемые — алюминий, мунц, латунь с содержанием не свыше 60% Cu, олово, свинец, цинк и пр.;

2) нормально прессуемые — латунь с 60—63%, Cu; чистая медь, некоторые алюминиевые сплавы и пр.;

3) ненормально прессуемые — латунь с 65—70% Cu;

4) тяжело прессуемые — морская латунь 70/29/1, медноникелевые и бронзовые сплавы, дуралюмин и прочие аналогичные им по механическим свойствам сплавы.

Понятно, что при работе на прессе определенной мощности для тяжело прессуемого сплава максимально возможное относительное обжатие δ или максимальный коэфициент вытяжки λ будет всегда ниже, чем у легко прессуемого.

6. ВЕЛИЧИНА УСИЛИЙ, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ПРЕССОВАНИЯ И ПРОШИВКИ СЛИТКОВ, И ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ЭТУ ВЕЛИЧИНУ

Влияние различных факторов на величину усилий, необходимых для прессования металлов через очко матрицы при прямом и обращенном методах прессования

Изучением влияния различных факторов на величину общего давления и напряжения материала при прессовании по прямому и обращенному методам занимались многие исследователи. Особо важны работы Закса, Зибеля, Эйсбейна, профессора С. И. Губкина, доцента П. А. Захарова (Московский институт цветных металлов) и др. Опыты проводились и с пластическими массами и с разными металлами и сплавами как в холодном (свинец, олово), так и в горячем состояниях (свинец, алюминий, магний, дуралюмин, электрон, медь, латунь и пр.), причем вели их и в лабораторных и в заводских условиях.

Применение таких металлов, как свинец, олово, конечно, сильно облегчает задачу экспериментатора, позволяя работать без нагрева, так как эти материалы даже при комнатной температуре быстро рекристаллизуются, но при этом упускается из виду влияние охлаждения слитков стенками контейнера и матрицей, неравномерность качества по поперечному сечению слитка, имеющая место при работе в горячем состоянии и т. п., что часто ведет к совершенно неверным выводам.

Применение в лабораторных условиях прессования в горячем состоянии слитков сплавов латунных, алюминиевых, дуралюминовых и др., конечно, более правильно. Поэтому работы исследователей, применявших горячие слитки и проверивших сделанные выводы в заводских условиях, весьма ценны. Постановка таких опытов, конечно, крайне затруднительна, но, повторяем, именно эти работы и имеют действительную ценность.

Использование для лабораторных опытов разного рода пластических масс совершенно нецелесообразно, ввиду того что по своему поведению и своим свойствам они совершенно отличны от металлов и сплавов.

Все указанные работы в лабораторных условиях велись на приборах, подобных описанным выше (см. фиг. 18 и 58), применяемых в исследовании течения металла при прямом и обращенном методах прессования. Чтобы иметь для работы наиболее доброкачественные (без раковин, пузырей и т. п.) образцы, получить которые при незначительном их сечении отливкой затруднительно, для больших размеров их готовили отливкой, а для малых — прессованием большого слитка на прутки определенного размера. Последние нарезали на короткие куски; опыты прессования производили на разрывной машине.

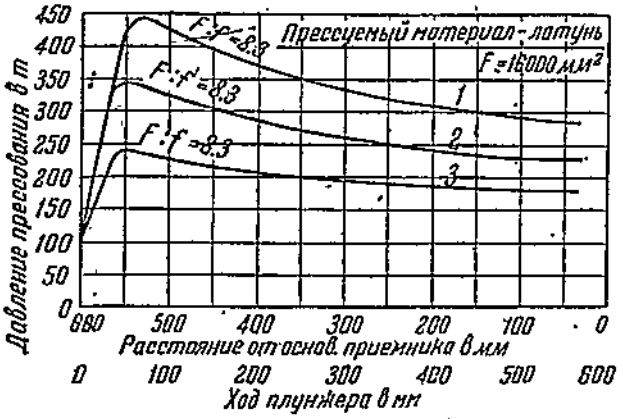
Для полного удаления остаточных напряжений от первого прессования и уничтожения литой структуры все образцы подвергали в течение продолжительного времени термической обработке при соответствующих температурах: для свинца в водяной ванне при 50° в течение 1—2 час.; для алюминия и дуралюмина при 395—400° в течение 2 час., для магния и электрона при 360—380° в течение 3—4 час. и т. д. Таким образом достигалась совершенная однородность металла, надежность и сравнимость выводов. После этого образцы при опытах прессования в горячем состоянии нагревали до требуемой температуры в специальных электрических печах и прессовали. Эксперименты с большими слитками латуни и других металлов и сплавов проводили в заводских условиях.

Таким образом изучено влияние всех факторов, могущих воздействовать на величину давления прессования, и в настоящее время процесс прессования в отношении прутков можно считать более или менее ясным. Теперь надлежит продолжить эти работы в отношении прессования труб и профилей; эта область затронута исследованиями еще мало.

Факторами, влияющими на величину потребного для прессования давления, являются: 1) температура прессования; 2) степень деформации; 3) длина слитка; 4) скорость прессования; 5) влияние профиля и формы сечения очка матрицы; 6) состояние поверхности контейнера и матрицы [1].

[1] Подробно см. брошюры: 1) Эйсбейн, Пластическая деформация металлов, Цветметиздат, 1933, стр. 27—48; 2) Зибель, Обработка металлов в пластическом состоянии, Металлургиздат, 1934; 3) С. И. Губкин, П. А. Захаров и др. Экспериментальные вопросы пластической деформации, 1934, ч. I и II и др.

а) Температура прессования. Влияние этого фактора на усилие прессования совершенно ясно из всего сказанного выше в отношении установления оптимальной температуры прессования, так как с повышением температуры сопротивление формоизменению у всех металлов и сплавов падает. Поэтому и был сделан вывод, что все металлы должны обрабатываться обязательно в горячем состоянии и при возможно высокой температуре, допустимой только свойствами металла и схемой обработки. Выгодность прессования при высоких температурах хорошо видна на диаграмме фиг. 105, данной для прямого метода прессования латуни разного состава. Здесь по оси абсцисс отложены расстояния от матрицы и ход плунжера в миллиметрах (от 0 до 600), а по оси ординат — полное давление на прессшайбу в тоннах (от 0 до 450). Все кривые даны для одной и той же степени деформации или коэфициента вытяжки $\lambda = \frac{F}{f} = 8{,}3$ при сечении контейнера $F = 16\,000$ мм². Верхняя кривая отвечает прессованию



Фиг. 105. Изменение давления в цилиндре пресса при прессовании латуни по прямому методу (по Швейсгуту)

при низкой температуре или более богатому медью сплаву, сопротивление формоизменению которого выше, чем у сплавов, более бедных медью, средняя кривая — прессованию латуни Л-58 при 700° и нижняя — прессованию при более высокой температуре или более богатого цинком сплава.

По этой диаграмме ясно видим, насколько полезно вести процесс прессования при более высоких температурах. Давление при первоначальном обжатии слитка в контейнере быстро возрастает почти по прямой линии до точки, отвечающей, примерно, началу истечения металла из матрицы, затем увеличение давления растет по некоторой кривой, пока не установится процесс истечения; затем при достаточной скорости прессования давление постепенно падает, так как длина слитка, а следовательно сопротивление деформированию, трение слитка о стенки контейнера и внутреннее трение частиц при продвижении пуансона и прессшайбы уменьшаются. Это падение давления в зависимости от большего или меньшего охлаждения слитка в контейнере и скорости прессования изменяется от 12 и до 43—45% от начального давления.

Следует, однако, иметь в виду, что характер кривых изменения давления не всегда такой, как это показано на фиг. 105. Если процесс прессования по той или иной причине ведется медленно, вследствие

ЛЕНІНА

чего слиток в контейнере сильно охлаждается (замерзает), или процесс в соответствии со свойствами сплава ведется при низких температурах, вследствие чего в металле получаются остаточные напряжения и процесс получается несколько подобный холодному, то падения давления после начала истечения материала через матрицу может и не быть. Падающая кривая может быть почти горизонтальной линией или даже поднимающейся к концу [1].

На диаграмме фиг. 106 *a*, *b* и *c*, 107, *a* и *b*, 108 и 109 даны кривые изменения давления при прессовании медных и дуралюминовых труб, дуралюминовых и бронзовых прутков.

Условия прессования указанных изделий приведены в табл. 7.

Таблица 7

Условия прессования некоторых изделий на 2500-т прессе

№ фиг.	Материал	Изделие: наименование	Изделие: размеры мм	Слиток: D мм	Слиток: L мм	Вытяжка, λ	Температура, °С	Прессование: продолжительность τ, сек.	Прессование: скорость плунжера v, мм/сек	Давление воды в цилиндре, кг/см²	Давление пресса: P_0, т	Давление пресса: уд. давление σ кг/см²
106, *a*	Медь	Труба	70 × 76	205	390	42,8	840	5,2	66,0	100	1250	43,0
106, *b*	»	»	50 × 58	205	320	46,3	845	5,5	58,3	125	1565	50,5
106, *c*	»	»	140 × 152	306	430	30,1	860	10,5	35,6	172	2130	37,2
107, *a*	Дуралюмин	Пруток	∅ 170	306	500	3,24	400	104,0	4,8	188	2350	32,5
107, *b*	»	»	∅ 41	205	440	25,0	400	182,0	2,14	130	1625	49,4
108	»	Труба	80 × 90	205	400	20,9	440	187,0	1,89	140	1750	62,7
109	Бронза БАЖМ	Пруток	∅ 90	306	450	11,6	770	10,4	43,4	140	1750	25,5

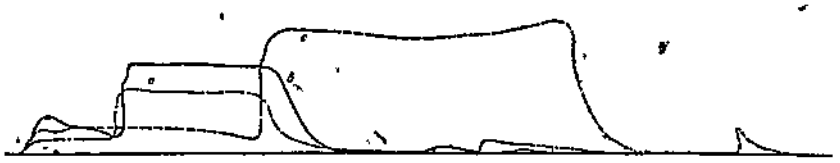
На всех приведенных кривых (фиг. 106—109) давление в конце прессования выключалось. Если бы процесс продолжался и далее, т. е. выпрессовывался бы несколько и остающийся прессостаток, то, естественно, в конце кривых получалось бы не падение, а, наоборот, повышение давления, как то показано далее на фиг. 110, 111, 112, 116, 121 и 122.

Интересные работы по определению удельного давления свинца, алюминия, дуралюмина, магния и электрона и влияния на эту величину различных факторов проведены Научно-исследовательским институтом легких металлов (НИИС алюминий), который, в своих работах, доказывая неопределенность термина «давление истечения», предложил более отвечающее существу дела понятие «среднего удельного давления», дал методику его определения и установил влияние различных факторов на эту величину.

Термин «давление истечения» понимается разными авторами различно. Одни подразумевают под этим максимальное напряжение материала при деформации простого сжатия или осаживания (Таммани); другие — напряжение при установившемся процессе прессования, третьи — начальное давление, четвертые — конечное давление (например Б. П. Шишокин) [2]. Все эти величины не дают ясного понятия о давлении истечения при прессовании, так как первая совершенно не связана с процессом прессования, а остальные дают это давление для одного определенного момента, т. е. какую-то неопределенную, переменную величину.

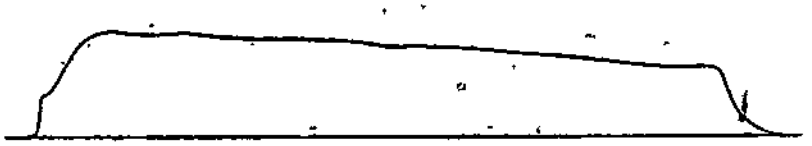
[1] Такой вид кривых наблюдал в своей работе инж. П. А. Захаров, такой вид получали неоднократно студенты-дипломанты МИЦМиЗ Д. Г. Зильберман и Л. В. Антоненко при проведении ими под руководством автора преддипломной работы.

[2] Б. П. Шишокин, Давление истечения металлов и сплавов при высоких температурах, «Цветные металлы», № 5, 1930.

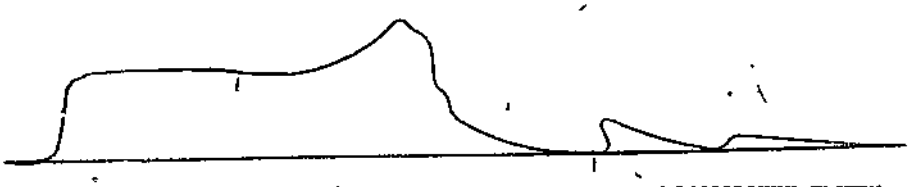


Фиг. 106. Изменение давления воды в цилиндре 2500-т пресса: *а* — изменение давления воды в цилиндре при прессовании медной трубы 70×76 мм из слитка 205×390 мм ($\lambda = 42{,}8$); *b* — то же при прессовании медной трубы диаметром 50×58 мм ($\lambda = 46{,}3$); *с* — то же при прессовании медной трубы диаметром 140×152 мм из слитка диаметром 306×430 мм ($\lambda = 30{,}1$)

Фиг. 107. Изменение давления воды в цилиндре: *а* — при прессовании дуралюминового прутка диаметром 170 мм из слитка диаметром 306×500 мм ($\lambda = 3{,}24$); *b* — то же при прессовании дуралюминового прутка диаметром 41 мм из слитка 205×440 мм ($\lambda = 25{,}0$)



Фиг. 108. Изменение давления воды в цилиндре при прессовании дуралюминовой трубы диаметром 80×90 мм из слитка 205×400 мм ($\lambda = 20{,}9$)



Фиг. 109. Изменение давления воды в цилиндре при прессовании прутка диаметром 90 мм из сплава БАЖМ; слиток 306×450 мм ($\lambda = 11{,}55$)

Следует отметить, что даже метод определения этой понимаемой разными авторами различно величины не установлен до сих пор твердо. Некоторые определяют его по формуле:

$$\sigma = \frac{P}{F},$$

где P — давление пресса в данный момент;
F — сечение контейнера или поверхность прессшайбы; другие (И. М. Павлов и др.) определяют по формуле:

$$\sigma = \frac{P}{F - f},$$

где F — сечение контейнера,
f — сечение прессуемого изделия,
т. е. одни под этим подразумевают удельное давление на прессшайбу, а другие — на кольцо металла вне матрицы.

Так как давление на плунжер в разные моменты прессования различно, то отсюда получалось «давление истечения» переменное, и даваемые разными авторами величины были несравнимы. НИИС алюминия вместо этих понятий предла-

гает ввести термин «среднего удельного давления» $\sigma_{сред}$, под которым подразумевает среднюю величину усилия, которое необходимо приложить к поверхности образца, соприкасающейся с прессшайбой для осуществления процесса прессования от начала до его конца. Его величина определяется по средней величине давления пресса за весь период фактического прессования металла от начала истечения до полного его прекращения, когда наблюдается резкое повышение давления пресса, но уже без движения выходящего из матрицы конца прутка, и вычисляется по формуле:

$$\sigma_{сред} = \frac{P_{сред}}{S} \text{ кг/мм}^2,$$

где $P_{сред}$ — давление пресса, равное $k(p_{сред} - 1) \cdot S_0$ кг.

В этой формуле $p_{сред}$ — среднее давление воды по манометру в килограммах на квадратный сантиметр в цилиндре пресса за время прессования;

S_0 — площадь плунжера пресса, см²;

S — поверхность соприкосновения слитка с прессшайбой, мм²;

k — постоянный коэфициент, учитывающий потери в прессе и равный 1,1—1,17.

Так как величина $P_{сред}$ определяется на основе рабочей диаграммы делением площади ее (работа прессования) на длину хода, то отсюда величина $\sigma_{сред}$ будет численно равна удельной работе пресса на 1 см³ объема металла, выпрессованного через матрицу. Такое определение величины удельного давления, по мнению НИИС алюминия, облегчило бы возможность сравнивать результаты опытов при разных температурах, разных степенях деформации и других переменных факторах (профиль и форма очка матрицы, скорость и т. п.).

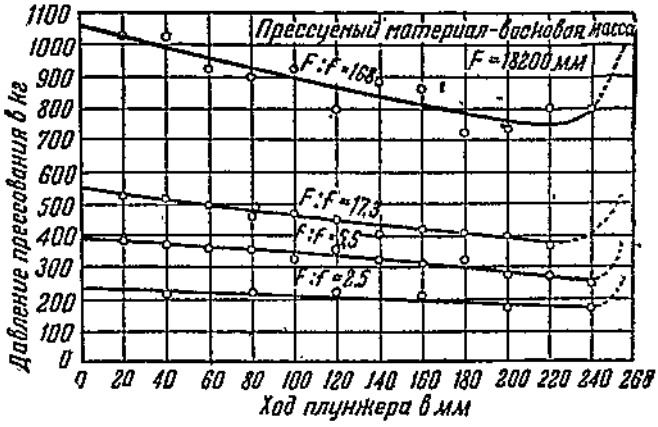
Такие средние величины $\sigma_{сред}$ в зависимости от температуры и даны на ряде диаграмм, приведенных в указанных выше трудах НИИС алюминия для дуралюмина, магния и электрона марки AZM.

Мы считаем, что хотя введение понятия о «среднем удельном давлении» прессования и может быть полезно, тем не менее отбрасывать величину максимального удельного давления на прессшайбу не следует, ибо именно это давление определяет потребную силу давления пресса, необходимого для той или иной работы. Поэтому далее и приводятся формулы для определения максимального напряжения материала как у матрицы, так и у прессшайбы, и величины полного давления на плунжер пресса.

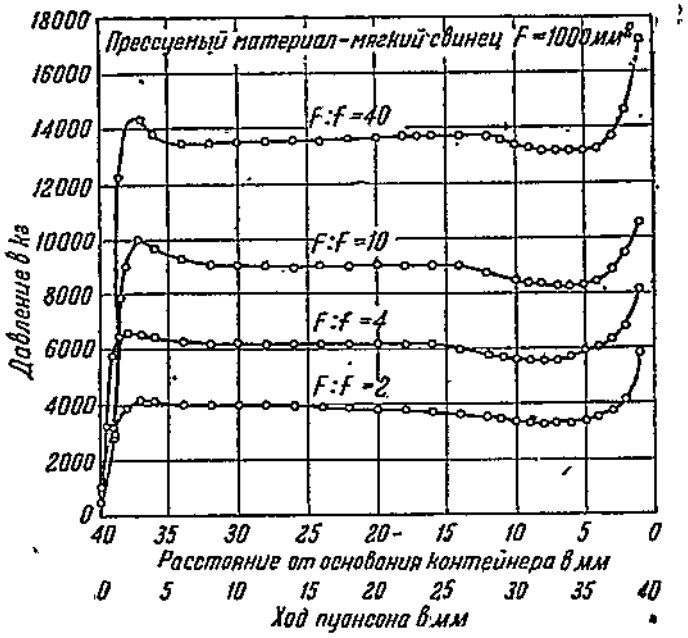
б) Степень деформации. При увеличении степени деформации сопротивление истечению через матрицу затрудняется. Поэтому потребное для прессования усилие возрастает не только при прессовании металла, но даже и пластических масс. Это хорошо видно на диаграмме фиг. 110, характеризующей прессование пластических масс, в которой по оси абсцисс отложен ход плунжера от 0 до 260 мм, а по оси ординат — полное давление на прессшайбу от 0 до 1100 кг. На кривых показана степень вытяжки $\lambda = \frac{F}{f}$ = от 2,5 до 168 (F — сечение контейнера, f — сечение прессуемого прутка). Влияние степени деформации совершенно ясно: чем больше степень деформации, тем больше должно быть и давление на прессшайбу, хотя пропорциональность здесь и не прямая.

Несколько другого характера, кривые при разных степенях деформации получаются при опытах лабораторного же характера, но со свинцом. Например, на фиг. 111 даны кривые изменения общего давления в килограммах при разной степени вытяжки $\lambda = \frac{F}{f} = 2 \div 40$ при прессовании в холодном состоянии свинцовых цилиндриков сечением 1000 мм². Влияния температуры здесь, конечно, нет; давление уменьшается при уменьшении длины слитка и трения о стенки контейнера (поверхность контейнера была тщательно отшлифована). Это, повидимому, перекрывается некоторым упрочнением металла, почему после падения давления от максимума далее идет почти горизонтальный участок, и кривые близко подходят к кривым такого же вида (фиг. 112), полученным при прессовании в лабораторных условиях

свинцовых заготовок по обращенному методу. Происхождение повышенных давлений в начале процесса (фиг. 111) объясняется, повидимому, особыми свойствами свинца. Давление перед концом процесса при приближении пуансона к матрице понижается потому, что в этот



Фиг. 110. Изменение величины потребной силы при прессовании пластических масс по прямому методу (по Ункелю)

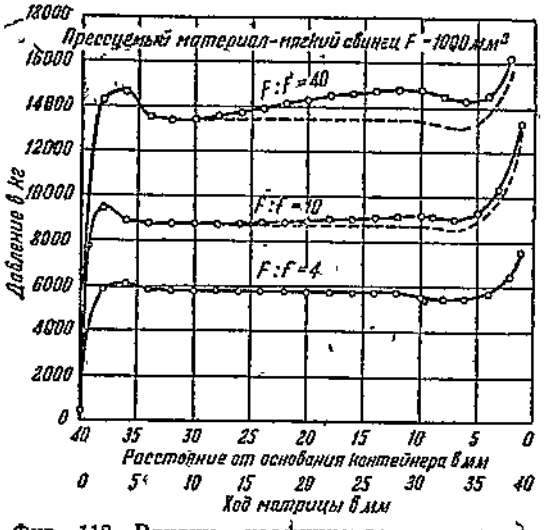


Фиг. 111. Влияние степени деформации на величину давления при прессовании свинца по прямому методу

момент условия истечения меняются коренным образом. В средине протекания процесса все частицы слитка приближаются постепенно к матрице и свободно уходят в пруток, где занимают положение, отвечающее их начальному положению в слитке; перед концом прессования остающийся металл течет в матрицу по образовавшемуся в углах матрицы конусу, понятно, еще свободнее; в последний же момент, когда прессшайба подходит вплотную к конусному кольцу в

углах контейнера, в матрицу могут попасть частицы только из средней части остатка слитка, а наружные части задерживаются у стенок контейнера и осаживаются по мере приближения пуансона к матрице. Их течение в матрицу сильно затруднено, так как при незначительной толщине слоя влияние трения становится весьма заметным. Поэтому в самом конце процесса, когда длина слитка в контейнере остается меньше 1/5 диаметра контейнера, потребная для прессования сила опять возрастает.

Если процесс прессования вести еще дальше, то остающийся тонкий остаток слитка в контейнере вследствие указанного сильного трения между поверхностью пуансона и матрицей будет попадать затрудненно в матрицу, образуя только наружную поверхность прутка. В результате внутри прутка будет получаться в зависимости от конуса матрицы бо́льших или меньших размеров воронка.



Фиг. 112. Влияние коэфициента вытяжки $\lambda = F : f$ на изменение величины давления при прессовании свинца по обращенному методу

При прессовании свинца по обращенному методу (фиг. 112) можно было бы ожидать, что на большей части длины хода пуансона давление будет постоянным. Практика показывает, что это предположение действительно и оправдывается при небольших степенях вытяжки (на диаграмме, например, при $\lambda = 4$). При более же высоких степенях прямые линии превращаются в приподнимающиеся к концу хода кривые. Причиной этого является то, что при увеличении вытяжки и связанного с этим повышения давления на прессшайбу происходит вдавливание свинца между прессшайбой и контейнером, вследствие чего значительно возрастает сила трения. При других металлах, обладающих меньшей текучестью, такого попадания металла в этот промежуток не получается, почему кривые имеют характер нанесенных на этой диаграмме пунктирных прямых линий.

Зависимость между удельным давлением на прессшайбу и степенью деформации выражается очень простым логарифмическим соотношением. При прессовании олова и свинца в лабораторных условиях в холодном состоянии величина этого давления σ находится приблизительно в прямой пропорциональности от степени деформации и подчиняется логарифмической формуле:

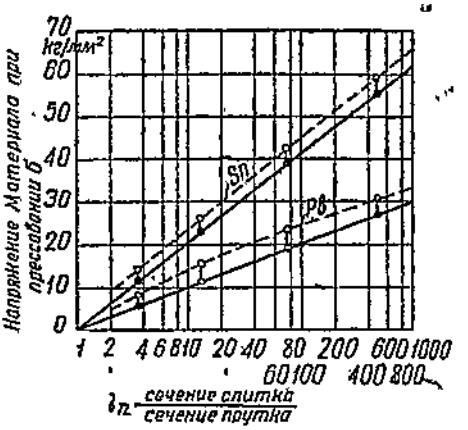
$$\sigma = c \cdot \ln \frac{F}{f},$$

где F — сечение контейнера;
f — сечение получаемого прутка;
c — коэфициент пропорциональности, зависящий от материала и равный для свинца 10 кг/мм² и для олова около 21 кг/мм².

Эта зависимость между $\ln \frac{F}{f}$ и величиной σ в кг/мм² для свинца и олова показана на диаграмме фиг. 113, в которой на оси абсцисс

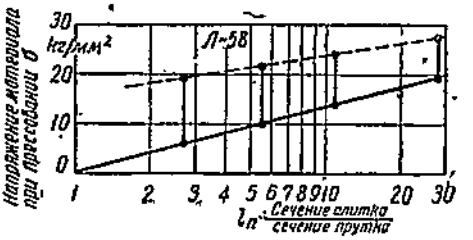
отложены величины $\ln\frac{F}{f}$, а по оси ординат—величина удельного давления на прессшайбу σ в кг/мм². Верхние пунктирные линии отвечают верхним максимальным величинам кривых давлений по фиг. 105, а сплошные — конечным точкам этих кривых. На основе этой диаграммы легко определить потребность в силе при любой степени деформации.

При работе с горячими слитками даже в лабораторных условиях, а тем более в заводских, зависимость эта сложнее. На фиг. 114 дана такая зависимость на основе опытов прессования латунных (Л-58) слитков диаметром 170 мм и длиной 750 мм на прутки различных диаметров с довольно большой скоростью прессования (от 6 до 7 см/сек). На этой диаграмме по оси абсцисс отложены также $\ln\frac{F}{f}$, а по оси ординат — величины σ в кг/мм². Минимальные величины потребных давлений лежат и здесь на прямых линиях, проходящих через начало координат, почему определяются просто, а верхние значения давлений (пунктирная линия) лежат на прямой, не проходящей через начало координат, и возрастают с увеличением степени деформации значительно медленнее первых.



Фиг. 113. Влияние степени обжатия на величину потребной силы при холодном прессовании олова и свинца (D — 22 мм; L — 20 мм; скорость прессования v — 0,2 мм/сек)

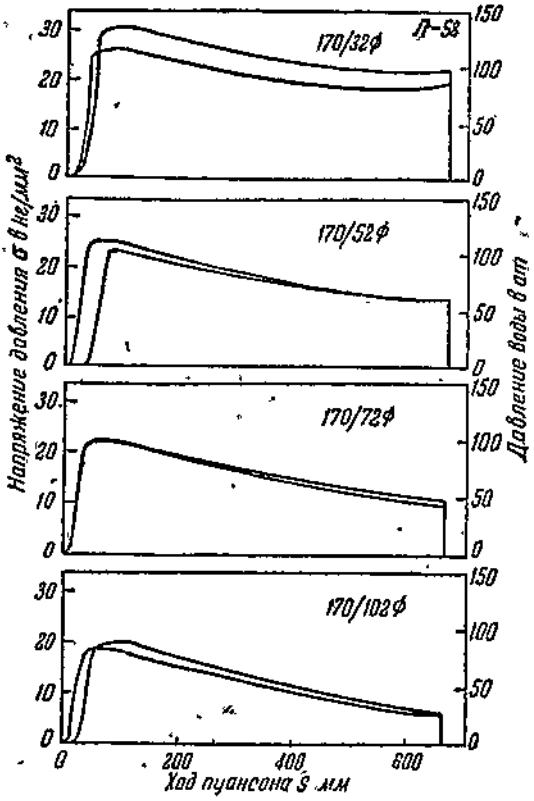
Очевидно, что при работе по обращенному методу влияние степени деформации на потребное давление будет характеризоваться кривыми, подобными изображенным пунктиром на фиг. 112.



Фиг. 114. Влияние степени обжатия на величину потребной силы при горячем прессовании латуни Л-58 (D — 170 мм; L — 750 мм; скорость прессования v — 6—7 см/сек)

На фиг. 115 приведены диаграммы изменения удельного давления σ в кг/мм² и давление воды в килограммах на квадратный сантиметр в зависимости от степени вытяжки при прессовании слитков латуни (Л-58) диаметром 170 мм и длиной 750 мм на разного диаметра (32, 52, 72 и 102 мм) прутки при температуре 650°. Влияние степени деформации на этих диаграммах совершенно ясно.

в) Длина слитка. Из сказанного выше следует, что длина слитка при прессовании по прямому методу в горячем состоянии в заводских условиях (ввиду наличия значительной величины сил трения по поверхности слитка и контейнера) должна очень влиять на величину потребного давления на прессшайбу. Практика нам это подтверждает. Например, при прессовании на прессе мощностью 1500 т медных слитков на прутки одинакового диаметра в 50 мм при длине слитка 78 см требовалось давление воды на плунжер в 140, при 38 см—100, а при 20 см всего в 80 кг/см².



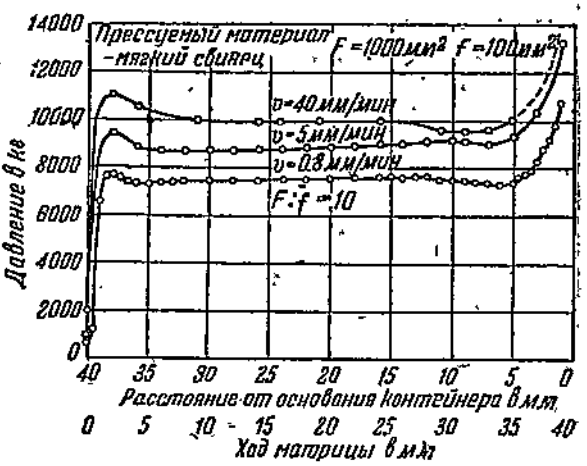
Фиг. 115. Диаграмма прессования латуни Л-58 при 650°. Влияние коэфициента обжатия на потребное удельное давление (по Заксу)

Очевидно, что при обращенном методе прессования длина слитка никакого влияния не имеет, так как там зона деформации охватывает небольшой участок у матрицы, и только материал, попавший в эту область, течет в матрицу, все же остальные частицы, лежащие дальше от матрицы, находятся в совершенно неподвижном состоянии.

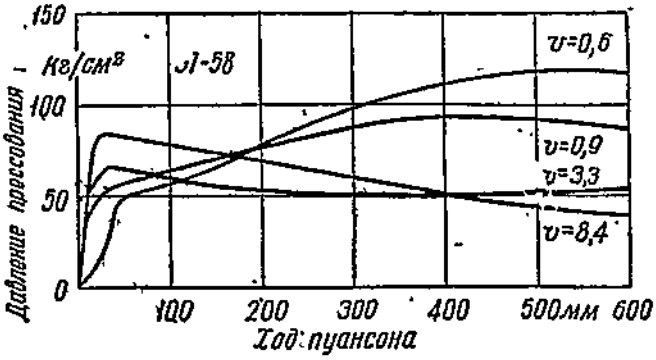
г) Скорость прессования. Скорость прессования оказывает по сравнению с другими факторами относительно небольшое влияние на величину потребного давления при лабораторных опытах с прессованием в холодном состоянии. Так, при работах со свинцом и оловом изменение скорости от $^1/_{10}$ нормальной и в 10 раз больше против нормальной вызывает изменение потребной силы всего на 20%. Результаты таких опытов при прессовании по обращенному методу приведены на диаграмме фиг. 116. Слитки сечением 1000 мм² прессовали на прутки сечением в 100 мм² при постоянной вытяжке λ, равной 10. Прессование велось со скоростью 0,8, 5 и 40 мм/мин. По диаграмме видно, что при изменении скорости от минимума до максимума в 50 раз давление изменялось от 7600 до 10 000 кг, т. е. на 2400 кг, или всего на 31,5%.

Можно ли это заключение, сделанное на основе лабораторных опытов при прессовании в холодном состоянии олова или свинца, перенести на прессование в горячем состоянии и тем более на прессование с обычно высокими скоростями работы в заводских условиях?

Ответ на такой вопрос дает диаграмма фиг. 117. Опыт вели с латунью Л-58 при температуре нагрева слитка 700° со скоростями прессования 0,6—0,9—3,3 и 8,4 см/сек. По диаграмме видно, что в начале процесса повышение скорости



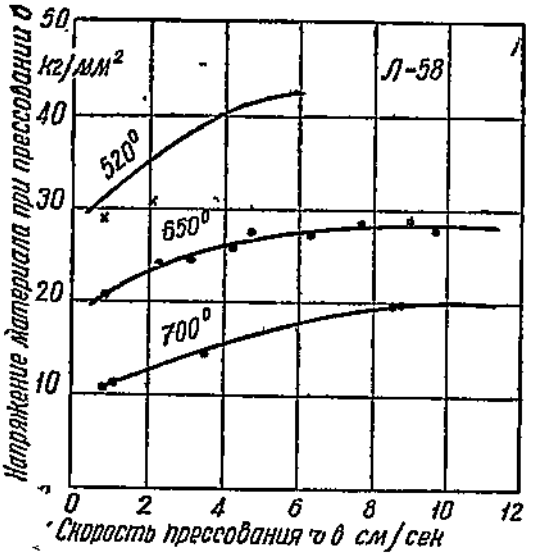
Фиг. 116. Влияние скорости прессования на изменение величины потребного давления при прессовании свинца по обращенному методу



Фиг. 117. Влияние скорости прессования латуни Л-58 при температуре 700° на величину потребного давления (по Эйсбейну): (D — 170 мм; d — 50 мм L — 750 мм)

требует повышения давления воды на плунжер, конечное же давление вследствие охлаждения слитка в контейнере тем выше, чем медленнее последний прессуется. При большой скорости прессования (8,4 см/сек) диаграмма совершенно отвечает фиг. 105. При малых скоростях прессования давление к концу процесса сильно возрастает.

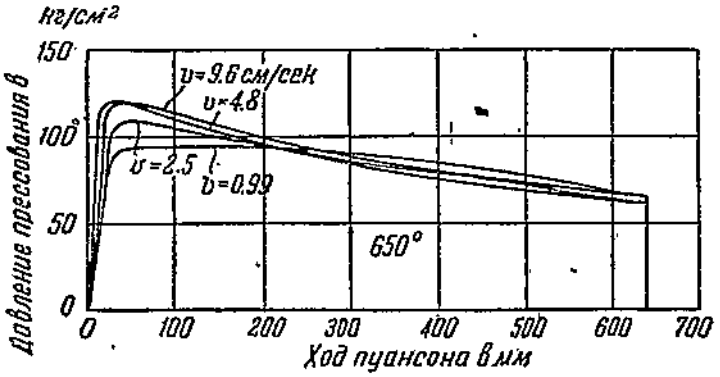
Интересно отметить, что влияние скорости прессования на величину начального давления не является постоянным, а увеличивается с возрастанием температуры, что видно на диаграмме (фиг. 118), в которой по оси абсцисс отложены скорости прессования в сантиметрах в секунду, а по оси ординат — величины удельного давления σ в кг/мм². Из диаграммы видно, что при 700° изменение скорости прессования с 0,5 до 5 см/сек, или увеличение ее в 10 раз, вызывает повышение напряжения σ с 10 до 16 кг/мм², или на 60%; при 650° — увеличение с 20 до 26 кг/мм², или на 30%, и при 520° — с 30 до 42 кг/мм², или на 40%. В общем влияние скорости сравнительно невелико.



Фиг. 118. Влияние скорости прессования латуни Л-58 при различных температурах на величину потребного давления (по Эйсбейну)
(D — 170 мм; d — 50 мм, L — 750 мм)

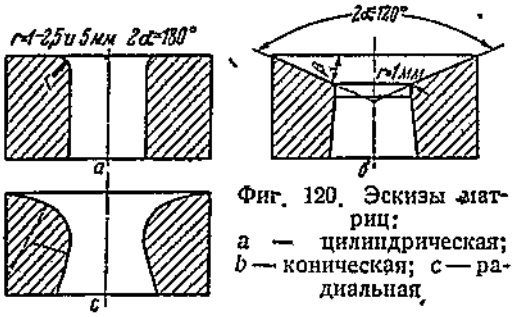
На диаграмме фиг. 119 приведены результаты прессования латунных слитков Л-58 диаметром 170 мм и длиной 750 мм на прутки диаметром 50 мм при температуре 650° с разными скоростями от 0,99 до 9,6 см/сек. Характер кривых и общее их течение такое же, как было отмечено и ранее. При скорости выше 4,8 см/сек влияние этого фактора столь незначительно, что практически им можно пренебречь.

д) Профиль и форма сечения очка матрицы. На практике применяют матрицы трех типов: а) с цилиндрическим отверстием, б) с вводным конусом и недлинной цилиндрической частью и в) так называемые радиальные (фиг. 120). Как показывают и опыты различных исследователей и заводская практика, при одном и том же сечении очка матрицы самого большого расхода силы требуют при



Фиг. 119. Влияние скорости прессования латуни Л-58 при 650° на изменение величины давления (по Заксу)

прессовании матрицы с цилиндрическим профилем очка, затем с радиальным и самого меньшего — с соответствующим вводным конусом и достаточным выводным (так называемая «распушка»).



Фиг. 120. Эскизы матриц: *a* — цилиндрическая; *b* — коническая; *c* — радиальная

Влияние этого фактора показано на фиг. 121. Для исключения влияния других факторов лабораторные работы вели с прессованием в холодном состоянии по обращенному методу небольших слитков мягкого свинца. Сечение их было 1000 мм², сечение очка матрицы было 100 мм². Переход от плоской поверхности матрицы (угол конуса $2\alpha = 180°$) к ее цилиндрическому очку делался (фиг. 120, *a*) разными радиусами *r* от 1 до 5 мм. Опыты велись также с матрицами, имеющими угол конуса $2\alpha = 120°$ или угол наклона образующей конуса с верхней плоскостью β в 30° и закругление при переходе к цилиндрической части всего в 1 мм (фиг. 120, *b*). Результаты опытов представлены на фиг. 121.

Из диаграммы видно благоприятное влияние радиуса закругления, а также, что конусная матрица является наиболее рациональной. Когда вместо матрицы с одним круглым отверстием сечением в 100 мм² была взята матрица с четырьмя круглыми же отверстиями сечением по 25 мм² каждая, то величина потребного давления была выше на 2000 кг, но все же значительно меньше того, которое требовалось при прессовании через матрицу в одно отверстие сечением 25 мм². Отсюда видно большое влияние периметра отверстия по отношению к его сечению, а также рациональность прессования тонких прутков в несколько ручьев. Этим уменьшается расход энергии и потребное давление, а следовательно уменьшается изнашиваемость инструмента, очень большая при малых сечениях очка, и, кроме того, значительно увеличивается производительность агрегата.

Табл. 8 показывает, что при коническом профиле очка матрицы расход энергии меньше до 25%, чем при радиальном.

Итак, конический профиль очка матрицы требует на 25% меньше давления, чем радиальный, и еще менее, чем цилиндрический. Тогда, естественно, является вопрос, для чего все же применяются матрицы с радиальным профилем очка? Практика дает на это такой ответ: матрицы конические применяют для уменьшения давления прессова-

Таблица 8

Сравнение потребного давления на плунжер 1500-т пресса при прессовании слитков диаметром 165 мм на прутки разного диаметра при коническом и радиальном профиле очка матрицы

Давление на плунжер	Диаметр прессуемого прутка, мм							
	50	25	10	6	50	25	10	6
	Профиль очка матрицы							
	конический				радиальный			
Давление, кг/см²	90	120	160	250	110	130	220	290
» »	50	100	150	280	110	120	170	250
» »	40	90	130	190	60	110	160	240
» суммарное	180	310	440	720	280	360	550	780
» среднее	60	103	146	240	93	120	183	260

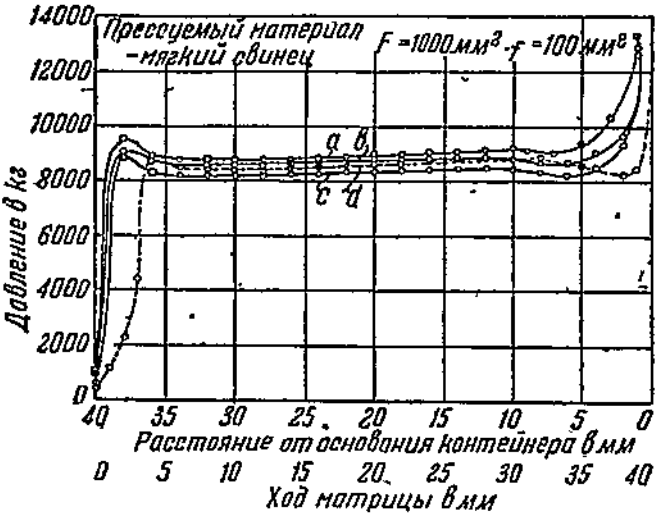
ния, но они при прессовании легче наваривáются, вследствие чего пруток скоро теряет свои размеры, становится более тонким и не отвечает установленным допускам. Радиальные матрицы рационально применять при прессовании таких металлов и сплавов, которые обладают способностью налипания на инструмент (алюминий, дуралюмин, магний, электрон и пр.). Так как изготовлять радиальный профиль очка матрицы довольно затруднительно, то на практике применяют и в этом случае матрицы конические, которые, как это показано в табл. 8, наиболее рациональны по расходу силы. На вопрос о том, какую конусность следует придавать профилю очка матрицы для получения изделия надлежащего качества и тем избежать напрасной траты энергии, ответ дают некоторые работы разных исследователей, проводивших свои опыты и с плоскими и с коническими матрицами, имеющими разный угол конуса у вершины (см. фиг. 21 и 120). Ими установлено, что оптимальным углом α является угол от 30 до 50°, когда потребная сила примерно на 30% меньше, чем при матрице с острыми углами. Таким образом оптимальными в смысле расхода силы являются матрицы типов второго и третьего слева направо на фиг. 21. Увеличение потребной силы при остроугольной матрице объясняется, как и при волочении, тем, что наряду с уменьшением внутреннего трения значительно более возрастает наружное трение по всей поверхности соприкосновения металла с матрицей, в то время как при очке другого профиля такого полного соприкосновения не происходит, и потому наружное трение имеет значительно меньшее значение. Хотя при углах $\alpha > 50°$ значительно возрастает величина внутреннего трения, но общее сопротивление деформации все же менее, чем при острых углах, хотя и более, чем при $30 \div 50°$.

Таким образом оптимальным углом является угол $\alpha = 30 \div 50°$, т. е. угол, близко подходящий к естественному углу внутреннего трения. Это значит, что угол β (фиг. 120) у матриц имеет оптимальное значение: $\beta = 60 \div 40°$.

П. А. Захаров пришел к выводу, что оптимальный для величины удельного давления угол — это угол $\beta = 45 \div 65°$, понижающий удельное давление истечения на $30 \div 40\%$ при лабораторных установках и на $20 \div 25\%$ при заводских.

На практике угол β применяют значительно меньших размеров, а именно, β делают равным $25 \div 30°$. Последнее объясняется тем, что

кроме расхода энергии на практике приходится считаться еще с более важным фактором — с качеством изделия. Оказывается, что если угол β сделать даже 40°, то окисленная и охлажденная о стенки контейнера наружная поверхность слитка уже не задерживается в углах контейнера у матрицы и начинает попадать в матрицу, покрывая собой прессуемый пруток. Это ведет к порче, а иногда и к браку изделия. На этом основании угол β на практике не делается больше 30°, а большей частью равен 25°.



Фиг. 121. Влияние профиля очка матрицы на величину потребного давления при обращенном методе прессования:
a — матрица с цилиндрическим очком с углом 2α — 180° и радиусом $r = 1$ мм; *b* — та же матрица с $r = 2{,}5$ мм; *c* — та же матрица с $r = 5$ мм; *d* — коническая матрица с $2\alpha = 120$ и $r = 1$ мм

Следует добавить, что чисто конические матрицы также никогда не применяют, и всегда от конуса к цилиндрической части очка делают большим или меньшим радиусом закругленный переход, наличие которого, как то было выше показано на фиг. 121, конечно, полезно. Величина радиуса закругления берется согласно табл. 9.

Таблица 9

Изменения радиуса закругления

	Радиус закругления
При прессовании меди	От 2 до 5 мм
» » медноникелевых сплавов	» 4 » 8 »
» » монель-металла .	» 10 » 15 » и т. д.

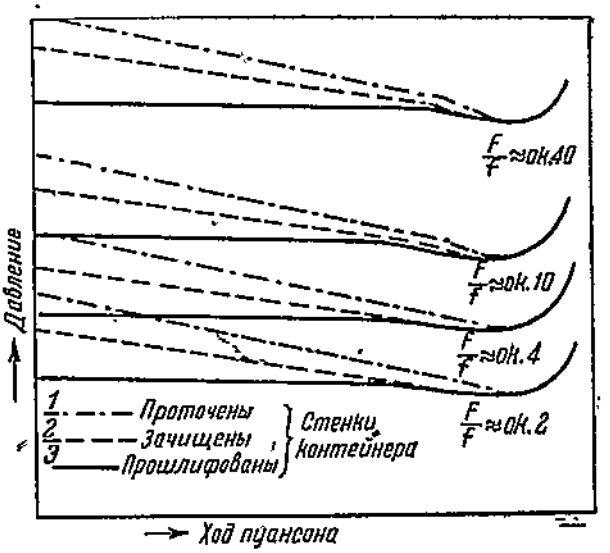
Если очко имеет безукоризненно отполированную поверхность, то длина цилиндрической части (пояска) матрицы при работе в лабораторных условиях на расход энергии влияния почти не имеет. Однако эта потребность в силе возрастает крайне быстро при работе в заводских условиях при наличии сработанности матрицы. Поэтому длину пояска очка следует делать возможно малой, какую только допускают прочность матрицы и ее стойкость в зависимости от размеров (так как малые отверстия вследствие высоких давлений срабатываются очень быстро) и от свойств прессуемых материалов. Обычно длину пояска делают равной 5—8 мм, но при очень тяжело прессуемых сплавах доводят (при больших размерах очка) до 23 и даже 25 мм.

При профилях с неравномерным сечением длину пояска часто берут также неодинаковой: чем тоньше стенка профиля, тем эта длина должна быть меньше для уменьшения трения, а радиус закругления возможно больше для лучшей подачи к этой части материала, так как в противном случае питание материалом этой части будет слабое,

профиль не будет надлежащим образом заполняться и изделие получится недоброкачественное (брак). Сказанное нужно всегда иметь в виду при проектировании матриц для производства профилей. Ввиду трудности изготовления матриц для сложных профилей с различной в разных местах длиной пояска надлежащее питание материалом отдельных частей профиля часто обеспечивают только принятием соответствующих размеров вводных радиусов.

Выше уже было отмечено, что даже при прессовании свинца с точки зрения расхода энергии не безразлично, прессовать ли один пруток сечением 100 мм² или четыре по 25 мм². Совершенно понятно, что при прессовании нагретых до высоких температур слитков эта разница еще более заметна, ибо в этом случае должно сильно сказываться влияние охлаждающего действия матрицы и ее периметра или поверхности трения. Очевидно, что при прессовании тонкой полосы одинакового сечения (площади) с круглым прутком придется приложить бо́льшую силу, чем при круглом; еще бо́льшая сила потребуется при прессовании какого-либо сложного профиля, вроде двутаврового и т. п. В последнем случае должна применяться и соответствующая мощность пресса и более высокая температура нагрева, для того чтобы закончить прессование как следует и получить изделие надлежащих качеств.

е) Состояние поверхности контейнера и матрицы. Состояние поверхности контейнера, вследствие увеличения сил трения при его сработанности, не может не влиять на повышение величины потребного для прессования давления. Кривые фиг. 122 показывают результаты прессования свинца при степенях вытяжки $\lambda = 2—4—10—40$. На этой диаграмме по оси абсцисс отложен ход пуансона, а по оси ординат — давление в килограммах. На кривых показаны степени вытяжки, а самые кривые даны трех видов: 1 — отвечает контейнеру с чисто проточенной резцом поверхностью, 2 — зачищенному резцом и 3 — отшлифованной поверхности контейнера. На всех кривых, соответствующих разным степеням вытяжки, при лучшей обработке поверхности контейнера величина потребного давления меньше. Эта разница сглаживается к концу процесса, когда влияние сил трения слитка о поверхность контейнера уменьшается и в конце концов отпадает. Однако все же величина наибольших давлений пуансона при прямом методе далеко превосходит величину подобных усилий при обращенном методе прессования.



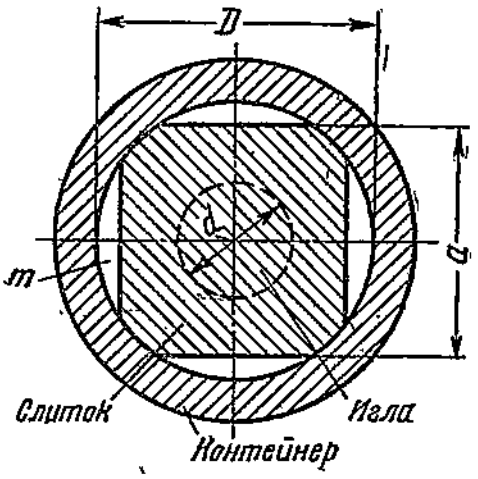
Фиг. 122. Влияние состояния поверхности контейнера на величину потребного давления при прямом прессовании свинца в холодном состоянии: 1 — поверхность проточена; 2 — поверхность зачищена; 3 — поверхность прошлифована

Совершенно понятно, что подобное же замечание о влиянии на величину давления состояния поверхности контейнера должно быть сделано и для матрицы, хотя, конечно, оно будет сказываться здесь

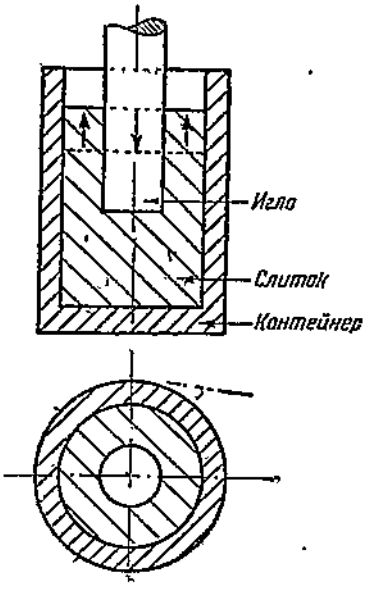
значительно менее, отражаясь более на качестве поверхности прессуемого изделия. Во всяком случае и с той и главным образом со второй стороны за исправным состоянием поверхности матрицы должно быть также необходимое наблюдение. Совершенно понятно, что надлежащая смазка контейнера и матрицы, в идеале позволяющая при прямом методе прессования получить картину истечения такую же, как и при обращенном методе (а прессование по последнему методу дает экономию в расходе энергии до 40—50%), является также актуальным фактором для снижения потребного для прессования давления.

Влияние различных факторов на величину усилий, необходимых при прошивке слитка иглой

В практике производства труб применяют два вида прошивки слитков иглой: прошивка в круглом контейнере квадратного или многогранного слитка иглой, сечение которой равно сечению сегментов m, образуемых матрицей и слитком (фиг. 123), и прошивка круглого слитка в контейнере (фиг. 124). Первый метод обычно



Фиг. 123. Схема прошивки слитка с течением материала в стороны (по Эргардту)



Фиг. 124. Схема прошивки слитка с течением материала вдоль по игле

применяют при производстве стальных труб (метод Эргардта), второй — при производстве труб на прессах изучаемого нами типа. Ясно, что в первом случае материал слитка течет в стороны радиально, почему длина прошиваемой заготовки не изменяется. Во втором случае материал может течь большей частью навстречу пуансону (фиг. 124), почему длина получаемой заготовки становится несколько больше, чем длина слитка до прошивки.

Работ по изучению течения металла при прошивке и влияния различных факторов на величину требующегося давления было до сих пор очень мало; наиболее полной является работа Э. Зибеля, объединенная им в книге «Обработка металлов в пластическом состоянии»[1].

[1] Металлургиздат, 1934.

Для изучения происходящей при прошивке деформации, а также влияния различных факторов на величину потребного для этого давления в указанной работе применялся конический контейнер длиной 60 мм, диаметром 35,5 внизу и 36,5 мм вверху при площади сечения соответственно 990 и 1050 мм².

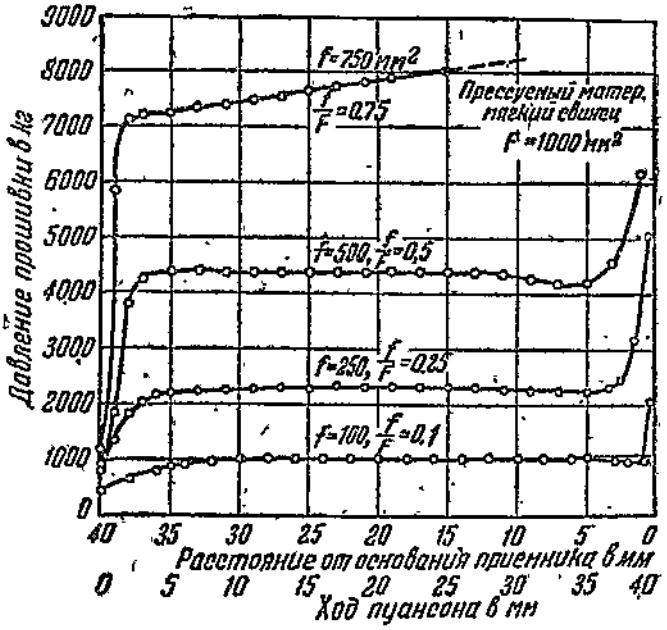
Для получения хорошего направления и правильной прошивки на иглу накладывали плотно входящее в контейнер направляющее кольцо. Иглы применяли с поперечным сечением от 100 до 750 мм², в большинстве случаев с плоским концом, закругленным по кромке радиусом в 2 мм, а для изучения влияния формы конца иглы — также и заостренные иглы. Прошивка производилась со скоростью 0,1 мм/сек. В качестве материала для опытов применяли мягкий свинец. Для обеспечения однородности материала образцы были сделаны из прутка, отпрессованного из одного слитка, и надлежащим образом подготовлены термически, подобно тому, как об этом было подробно сказано выше в отношении таких же образцов для изучения законов прессования.

Результаты исследований прошивки слитков по второму методу, т. е. вытеснением материала вдоль, навстречу движущейся игле, приведены дальше на диаграммах.

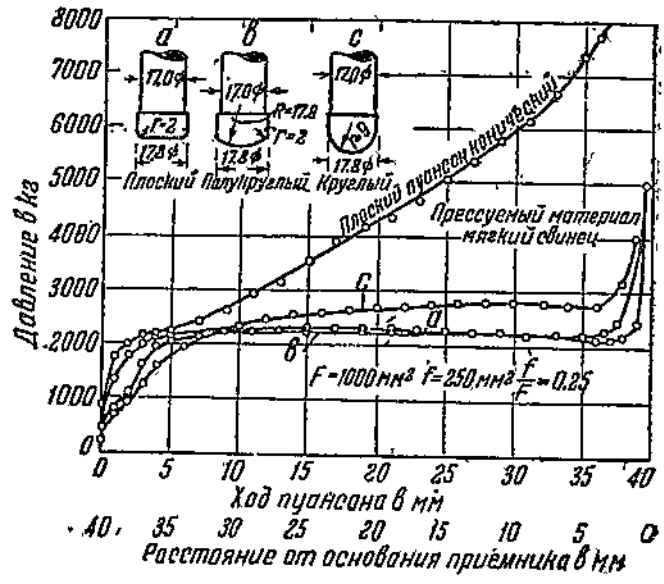
Факторами, влияющими на величину требуемого для прошивки давления, являются: 1) степень деформации, 2) форма конца иглы, 3) скорость прошивки, 4) состояние поверхности прошивной иглы, 5) смазка иглы. Из всех этих факторов Зибель изучил только два первых, влияние остальных им совершенно не изучалось.

а) Степень деформации. Для изучения влияния этого фактора была произведена прошивка слитков иглой сечением f в 100, 250, 500 и 750 мм² при сечении образца F=1000 мм², так что степень деформации, определяемая отношением сечения иглы к сечению контейнера, была соответственно $\frac{f}{F}$ = 0,1, 0,25, 0,5 и 0,75. Игла была применена с плоским концом. Результаты испытания приведены на диаграмме фиг. 125.

На диаграмме видим, что при отношении $\frac{f}{F}$ в 0,1, 0,25, 0,5 после очень короткого хода иглы (всего в несколько миллиметров) процесс является установившимся с постоянным давлением, почему линия диаграммы идет горизонтально. При приближении иглы к концу это давление немного падает, а затем у самого конца процесса, когда



Фиг. 125. Влияние отношения сечения иглы к сечению слитка на характер изменения потребного давления при прошивке отверстия иглой с плоским концом с течением материала (свинец) вдоль иглы



Фиг. 126. Влияние формы конца иглы на величину потребного усилия для прошивки отверстия в слитке с течением материала (свинец) вдоль иглы (кривая *a* отвечает форме конца иглы *a*, кривая *b* — форме *b* и кривая *c* — форме *c*)

расстояние от дна контейнера остается равным около $\frac{1}{5}$ его диаметра, кривые круто поднимаются вверх. Причиной этого является, конечно, изменение процесса течения при приближении иглы к донышку контейнера, а когда игла проходит этот небольшой участок, то к самому концу процесса начинает сильно проявляться трение металла о дно контейнера, отчего давление для продолжения процесса в этот момент требуется большее. При отношении $\frac{f}{F}=0{,}75$ толщина стенки получающейся трубы равна всего около 2,5 мм, течение металла по луансону крайне затруднено, почему к концу процесса давление все время заметно повышается.

б) Форма конца иглы. Для изучения влияния этого фактора были взяты иглы диаметром 17,8 мм или сечением 250 мм²: 1) с концом плоским, закругленным только по кромке радиусом в 2 мм, 2) с концом выпуклым, закругленным общим радиусом в 17,8 мм и с закруглением кромок радиусом в 2 мм и 3) с концом полукруглым. Эскизы конца иглы даны на фиг. 126. Кроме того, была еще применена игла сечением в 250 мм² с плоским концом и незначительным конусом по длине, так что диаметр ее на длине 30 мм увеличивался на 1 мм.

Отношение $\frac{f}{F}$ было $\frac{250}{1000}=0{,}25$.

Результаты исследования приведены на диаграмме фиг. 126.

Диаграмма показывает, что наименьшее усилие для прошивки требуется при слегка закругленном конце иглы, однако оно совершенно незначительно отличается от потребного при плоском конце. При конце в форме полушара усилие требуется приблизительно на 20% большее, чем в первых двух случаях. Еще менее рациональным является, как то видим на той же фиг. 126, применение игл конической формы. Оказывается, что в этом случае потребное усилие значительно больше (верхняя кривая), чем при плоском конце цилиндрической иглы. Это имеет очень важное практическое значение для работы на вертикальных прессах, не имеющих независимого хода иглы. Игла у этих прессов делается на практике всегда на конус, для облегчения, якобы, течения по ней материала при прессовании и уменьшения ее

вытяжки. На основании фиг. 126 выходит, что при прошивке она вследствие этого подвергается значительно большему продольному давлению, а отсюда увеличивается наличие неблагоприятных условий для ее продольного изгиба и выхода из строя по этой причине. Правда, с другой стороны, при прессовании трубы течение металла по такой игле будет более свободно, силы трения будут меньше, а значит, можно ожидать меньшей вытяжки иглы. Необходимо продолжить исследования, чтобы изучить всесторонне этот вопрос.

Определение величины усилий, необходимых при прессовании и прошивке слитков

Для определения величины усилий, необходимых для прессования и прошивки слитков, наиболее удобными для практического применения и дающими более надежные результаты являются формулы Зибеля и Закса, а равно предложенные профессором-доктором С. И. Губкиным. При правильном применении таковых и установленных им и его учениками констант результаты подсчетов являются, как то показано далее на примерах, довольно близко совпадающими с опытными.

а) Формулы Зибеля. Предположим, что мы имеем слиток (фиг. 127) диаметром D или сечением F и длиной L, который после прессования превращается в пруток диаметром d, сечением f и длиной l.

Объем тела V при пластическом формоизменении остается постоянным.

Работа всякой деформации в общем виде, независимо от ее вида, равна смещенному объему V_d, умноженному на сопротивление формоизменения k_f:

$$A = V_d \cdot k_f.$$

Так как смещенный объем V_d равен при равномерной деформации начальному объему слитка, умноженному на степень деформации, т. е.

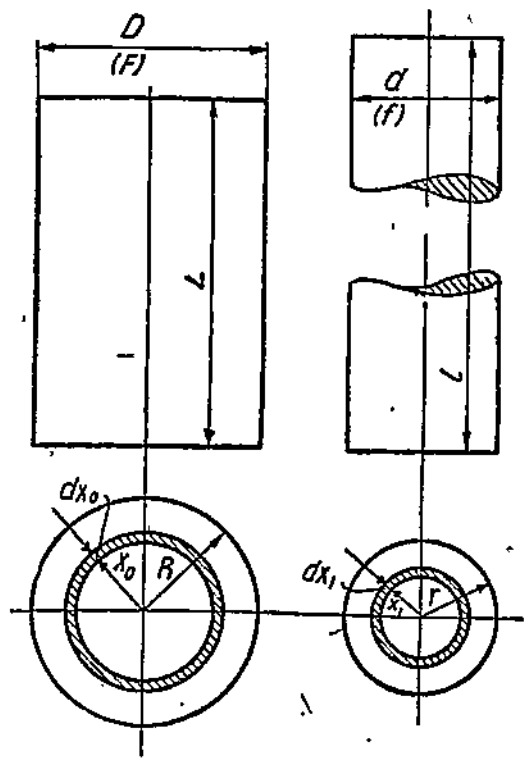
$$V_d = V \cdot \ln \frac{F}{f},$$

то работа деформации

$$A = Vk_f \cdot \ln \frac{F}{f},$$

а давление, производящее эту работу, будет:

$$P = F \cdot k_f \cdot \ln \frac{F}{f}.$$



Фиг. 127.

При прессовании по прямому методу давление на прессшайбу должно быть такой величины, чтобы было преодолено не только сопротивление формоизменению P самого материала, но также и трение слитка о поверхность контейнера. Приняв диаметр слитка и контейнера равным D и изображая длину слитка до начала зоны деформа-

ции через L, а коэфициент внешнего трения (о стенки контейнера) через μ, можем величину силы трения выразить так:

$$R = \pi DL\mu \cdot k_f.$$

Тогда величина полного потребного для прессования давления на прессшайбу будет:

$$P_0 = P + R = F \cdot k_f \cdot \ln \frac{F}{f} + \pi DL\mu \cdot k_f. \qquad (1)$$

Отсюда видно, что величина полного давления P_0 переменная, зависящая от длины слитка. При прессовании по обращенному методу сила трения, естественно, отпадает, и потребная для прессования сила во все время течения процесса остается постоянной и равной:

$$P_0' = F \cdot k_f \cdot \ln \frac{F}{f}. \qquad (2)$$

Например, по диаграмме фиг. 119 давление при прессовании латуни на 1000-т прессе в начале процесса соответственно давлению воды в 120 кг/см² достигало величины 610, и в конце при давлении около 60 кг/см² — 312 т. По формуле, на основе последней величины,

$$P = F \cdot k_f \cdot \ln \frac{F}{f},$$

т. е. 312 т, когда влиянием трения ввиду незначительности остатка слитка можно пренебречь; при скорости прессования $v = 4{,}8$ см/сек величина k_f определяется равной 5,6 кг/мм². Зная величину k_f, можно по уравнению (1) определить величину коэфициента трения μ. При падении давления 610—312=298 т, диаметре контейнера 170 мм и ходе пуансона 600 мм она будет равна:

$$\mu = \frac{298\,000}{5{,}14 \cdot 170 \cdot 600 \cdot 5{,}6} = 0{,}16.$$

Если такое определение величины k_f и μ сделать по конечным давлениям диаграммы на фиг. 115, представляющей результаты опытов прессования со скоростями 6—7 см/сек при температуре 650°, то получим, что k_f изменяется всего от 5,6 до 6,1 кг/мм², несмотря на большое колебание в обжатиях, а величина μ, оказывается, не является постоянной, а колеблется от 0,1 при диаметре матрицы 32 мм до 0,13 и 0,16 при других ее размерах.

Таким образом для пользования этими формулами нам нужно знать определенные экспериментальным путем для различных металлов и сплавов, разных температур обжатий и скоростей прессования величины k_f и μ. Пока мы таких материалов не имеем в достаточной степени, а потому пользоваться этими простыми формулами не можем.

Вследствие этого формулы Закса—Линикуса и в особенности профессора-доктора С. И. Губкина, выведенные на теоретической основе, представляют для нас сейчас значительно больший интерес. Ввиду того что вывод их входит в курс «Теории обработки давлением», читаемый проф. С. И. Губкиным, и потребовал бы много времени для ознакомления с основами пластической механики, на базе которых они построены, мы вывода их не приводим, отсылая интересующихся к соответствующим курсам непосредственно [1].

[1] Проф. С. И. Губкин, Пластическая деформация металлов, ОНТИ, 1935, стр. 305—318.

б) **Формулы Закса — Линикуса.** Г. Закс и В. Линикус на основе изучения при прессовании распределения напряжений в конической матрице приняли, что оно соответствует распределению напряжений в прутке при его протяжке через коническую волоку [1]. Это дало возможность применить к прессованию выведенную ими формулу для расчета потребной силы на волочение. Экспериментальные их исследования подтвердили возможность такого допущения.

Точное определение сопротивления формоизменению, зависящего от наличия многих факторов, крайне трудно и возможно в довольно грубой форме только при наличии некоторых допущений, сильно упрощающих задачу.

Так, если допустить, что действующее в осевом направлении давление от пуансона распространяется равномерно во все стороны, т. е. что находящийся в пластическом состоянии материал подчиняется законам гидравлики (это довольно грубое допущение), а также, что нормальное к поверхности давление стенок очка матрицы (это давление, как показали работы Зибеля и Гюне, ненормально к поверхности очка) и среднее напряжение сжатия можно рассматривать как главные напряжения и что в области истечения материала напряжение сдвига постоянно, то величина необходимого для прессования минимального напряжения материала у матрицы $\sigma_м$ при условии отсутствия трения в матрице (по Заксу и Линикусу) будет:

$$\sigma_м = p_m \cdot \ln\left(\frac{D}{d}\right)^2, \qquad (3)$$

где p_m — сопротивление материала истечению;

D — диаметр слитка после запрессовки, равный диаметру контейнера;

d — диаметр прессуемого прутка.

Эту величину $\sigma_м$ может иметь только при лабораторных работах, т. е. при употреблении небольшого размера образцов и при идеально отшлифованных контейнере и матрице. На практике таких условий иметь нельзя, и потому следует обязательно вводить в учет трение и в матрице и в контейнере.

Если принять во внимание трение в матрице при длине цилиндрической ее части, почти равной нулю, то приведенная формула получает более сложный вид:

$$\sigma_м = p_m\left(1+\frac{\operatorname{tg}\alpha}{\mu}\right)\cdot\left[\left(\frac{D}{d}\right)^{\frac{2\mu}{\operatorname{tg}\alpha}}-1\right], \qquad (4)$$

в которой α — угол наклона образующего очка (половина угла конуса профиля очка матрицы);

μ — коэфициент трения металла о поверхность очка;

p_m, D и d — имеют те же значения, что и выше.

Эта формула дает возможность определить то напряжение материала у матрицы, которое требуется для приведения материала в состояние, обеспечивающее его истечение через ее очко. Очевидно, что при обращенном методе прессования это напряжение $\sigma_м$ дает вместе с тем возможность определить необходимую мощность пресса:

$$P'_0 = F\cdot\sigma_м = \frac{\pi D^2}{4}\cdot\sigma_м, \qquad (5)$$

[1] Это заключение можно сделать также на основе указанной выше работы Зибеля. См. также брошюру с переводами ряда статей под ред. П. С. Истомина, Пластическая деформация металлов, Цветметиздат, 1933.

где F — площадь контейнера, равная площади пуансона, и
D — его диаметр.

При прямом методе прессования напряжение у прессшайбы для начала процесса должно быть дано значительно больше, для того чтобы преодолеть трение поверхности слитка о стенки контейнера. По Заксу — Линикусу величина этого удельного давления определяется следующей формулой:

$$k = (\sigma_м + p_m) \cdot e^{\frac{4\mu L}{D}} - p_m, \qquad (6)$$

в которой L — длина слитка (остальные величины имеют прежнее значение).

В этих формулах величина сопротивления истечению не зависит от степени деформации и, наоборот, зависит от скорости истечения. Эта зависимость от скорости устанавливается опытами путем испытания на обжатие пробных образцов с разными скоростями. Коэфициент μ может быть вычислен по формуле (6) из падения напряжения во время процесса прессования, но лучше и надежнее может быть определен непосредственными опытами.

в) Формулы С. И. Губкина [1] для прессования. Для определения величины потребного давления пресса при данных размерах слитка или, наоборот, для определения предельных размеров длины слитка (диаметр слитка, как то было выше указано, определяется из соображений получения определенной минимально-допустимой степени деформации) для данного пресса С. И. Губкиным выведен ряд формул для разных случаев практики, а именно: для определения напряжения материала у матрицы и прессшайбы и величины давления при прессовании прутков при разной форме очка матрицы и разном типе прессования, при прессовании труб также при разных условиях и, наконец, профилей. В конце этого раздела приведены необходимые для расчетов величины.

Из приведенных далее в главе III примерных по этим формулам расчетов видно, что полученные на основе этих материалов величины довольно хорошо согласуются с данными практики.

Примем следующие обозначения.

$\sigma_м$ — величина напряжения материала у матрицы;
k — напряжение материала у прессшайбы без учета неравномерности напряженного его состояния;
σ — среднее удельное давление прессшайбы на слиток с учетом неравномерности напряженного его состояния;
p — истинный предел текучести материала;
D — диаметр контейнера пресса;
F — сечение контейнера пресса, равное сечению запрессованного слитка;
F_0 — сечение запрессованного в контейнере кольцевого сечения прошитой иглой трубной заготовки;
L — длина слитка после запрессовки;
d — диаметр очка матрицы, равный диаметру прутка или наружному диаметру трубы;
d_1 — внутренний диаметр трубы, равный диаметру иглы;
f — сечение получаемого прессованием изделия;
f_1 — сечение иглы;
f' — поверхность матрицы, соприкасающейся с материалом прессуемого профиля;
l — длина цилиндрической части матрицы (пояса);

[1] Пластическая деформация металлов, стр. 307—311.

α — угол очка матрицы, т. е. угол между образующей вводного конуса очка и осью матрицы;

μ — коэфициент трения данного материала при соответствующих условиях;

h и β — величины, выбираемые следующим образом:

а) при прямом методе прессования и наличии трех объемов принимаются $h = L$ и $\beta = 1$;

б) при отсутствии объемов, но в случае если деформация охватывает весь объем слитка, $h = L$ и $\beta = \frac{1}{2}$;

в) при условии распространения деформации на небольшую длину слитка $h = L$ и $\beta = \frac{1}{4}$;

г) при обращенном методе прессования $h = \frac{D}{2}$ и $\beta = \frac{1}{2}$;

$F_{пл}$ — рабочая площадь главного плунжера;

η — коэфициент полезного действия пресса.

При принятых выше обозначениях формулы эти получают следующий вид.

I. Прутки

а) Прессование по прямому методу

1. Матрица с цилиндрическим профилем очка:

$$\sigma_м = p_m \left[\ln \left(\frac{D}{d} \right)^2 + e^{\frac{4\mu l}{d}} - 1 \right]; \tag{7}$$

$$k = (\sigma_м + p_m) \cdot e^{\frac{4\mu h\beta}{D}} - p_m. \tag{8}$$

2. Матрица с коническим профилем очка:

$$\sigma_м = p_m \left(1 + \frac{\operatorname{tg}\alpha}{\mu} \right) \cdot \left[\left(\frac{D}{d} \right)^{\frac{2\mu}{\operatorname{tg}\alpha}} - 1 \right]; \tag{9}$$

$$k = (\sigma_м + p_m) \cdot e^{\frac{4\mu h\beta}{D}} - p_m. \tag{8}$$

б) Прессование по обращенному методу

1. Матрица с цилиндрическим профилем очка:

$$k = p_m (e^{\frac{4\mu l}{d}} - 1) \left(\frac{D}{d} \right)^2 + 2p_m \left[\left(\frac{D}{d} \right)^2 - 1 \right]; \tag{10}$$

2. Матрица с коническим профилем очка:

$$k = p_m \left(1 + \frac{\operatorname{tg}\alpha}{\mu} \right) \left[\left(\frac{D}{d} \right)^{\frac{2\mu}{\operatorname{tg}\alpha}} - 1 \right]. \tag{11}$$

II. Трубы

1. Матрица с цилиндрическим профилем очка:

$$\sigma_м = p_m \left(\ln \frac{F_0}{f} + e^{\frac{4\mu l}{d - d_1}} - 1 \right); \tag{12}$$

$$k = (\sigma_м + p_m) \cdot e^{\frac{4\mu h\beta}{D - d_1}} - p_m. \tag{13}$$

2. Матрица с коническим профилем очка:

$$\sigma_м = p_m\left(1+\frac{\operatorname{tg}\alpha}{\mu}\right)\cdot\left[\left(\frac{F_0}{f}\right)^{\frac{\mu}{\operatorname{tg}\alpha}}-1\right]; \tag{14}$$

$$k=(\sigma_м+p_m)\cdot e^{\frac{4\mu h\beta}{D-d_1}}-p_m. \tag{13}$$

III. Профили

1. Пруток квадратного сечения (a — сторона квадрата):

$$\sigma_м = p_m\left[\ln\left(\frac{D}{a}\right)^2+e^{\frac{4\mu l}{a}}-1\right]; \tag{15}$$

$$k=(\sigma_м+p_m)\cdot e^{\frac{4\mu h\beta}{D}}-p_m. \tag{8}$$

2. Профиль сложного сечения:

$$\sigma_м = p_m\left(\ln\frac{F}{f}+e^{\frac{\mu f'}{f}}-1\right); \tag{16}$$

$$k=(\sigma_м+p_m)\cdot e^{\frac{4\mu h\beta}{D}}-p_m. \tag{8}$$

Среднее удельное давление прессшайбы на слиток с учетом неравномерности напряженного состояния:

$$\sigma = mk, \tag{17}$$

причем величина коэфициента m берется по табл. 10.

Таблица 10

№ по пор.	Условия прессования	Величина m при прессовании сплавов		пластических масс
		по прямому методу	по обращенному методу	
	I. Контейнер без подогрева			
1	Матрицы с цилиндрическим очком . .	1,8	1,5	1,3
2	» » коническим очком	1,5	1,2	1,1
	II. Контейнер с подогревом			
3	Матрица с цилиндрическим очком . .	1,5	1,2	—
4	» » коническим очком	1,2	1,1	—

Величина полного давления на главный плунжер

$$P_0=\frac{\sigma\cdot F_{пл}}{\eta}.^{1} \tag{18}$$

Для прошивки слитков. Напряжение материала у торца иглы

$$\sigma_{прош}=2p_m+p_m\left(e^{\frac{4\mu L}{D-d_1}}-1\right). \tag{19}$$

Величина полного давления, необходимого для прошивки слитка,

$$P_{прош}=\frac{m\,\sigma_{прош}f_1}{\eta}. \tag{20}$$

[1] Величина к. п. д. пресса $\eta = 0{,}85$—$0{,}90$—$0{,}95$ в зависимости от его величины и системы: у тяжелых горизонтальных прессов к. п. д. обычно 85%, у легких 90% и у вертикальных прессов около 95%.

Величина коэфициента m берется по приведенной выше таблице. Величина p_m и коэфициент трения μ для различных металлов и сплавов (на основе работ проф.-доктора Губкина С. И.) могут приниматься следующие.

Таблица 11

1. Медь

Температура, °С / Давление и коэфициент трения	900	850	800	750
p_m	1,5—1,8	2,0—2,25	2,3—2,5	3,0—3,5
μ	0,10—0,12	0,15—0,18		0,18—0,22

Таблица 12

2. Латунь Л-59

Температура, °С / Давление и коэфициент трения	800—750	780—700	750—700	730—650
p_m	1,0	1,3	1,4	1,6
μ	0,15—0,18	0,18—0,21	0,23—0,24	0,25—0,26

Таблица 13

3. Латунь Л-62

Температура, °С / Давление и коэфициент трения	780	750	700	600
p_m	1—1,2	1,3—1,4	1,4—1,5	1,6—1,8
μ	0,18—0,20	0,24	0,26	0,28

4. Для латуни Л-60 и Л-70 и для алюминия при нормальных для этих сплавов и металла температурах прессования в среднем можно принимать:

латунь Л-60 . . . . . $p_m = 1{,}25$ и $\mu = 0{,}20$
» Л-70 . . . . . $p_m = 1{,}3$—$1{,}5$ и $\mu = 0{,}20$
алюминий . . . . . $p_m = 1{,}5$ и $\mu = 0{,}25$—$0{,}28$

Таблица 14

5. Дуралюмин

Температура, °С / Давление и коэфициент трения	480	450	400
p_m	1,5—1,6	2,0	3,4—3,6
μ	0,33—0,35	0,33	0,28—0,25

ГЛАВА II

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПРЕССА, НЕОБХОДИМАЯ ПРИ НИХ АППАРАТУРА, УСТРОЙСТВА И РАБОТА НА НИХ

1. ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ ПРЕССА

Горизонтальные пресса строят трех систем: а) прямого действия, на которых можно производить проволоку, прутки, разные профили и трубы; б) пресса с обращенным методом работы, на которых изготовляют только проволоку, прутки и профили, в) так называемые пресса комбинированные, позволяющие вести процесс обоими методами.

Горизонтальные пресса прямого действия

Так как на наших заводах еще можно видеть пресса старых типов наряду со вновь установленными, сконструированными по последнему слову техники, то считаем полезным начать ознакомление с прессами прямого действия именно с первых. Это тем более целесообразно, что эти пресса, а в особенности предназначенные только для производства прутков, имеют наиболее простую конструкцию. Освоение их даст возможность легче разобраться в конструкции и понять работу и взаимодействие всех частей и более сложных — трубных, а также новых прессов, весьма громоздких.

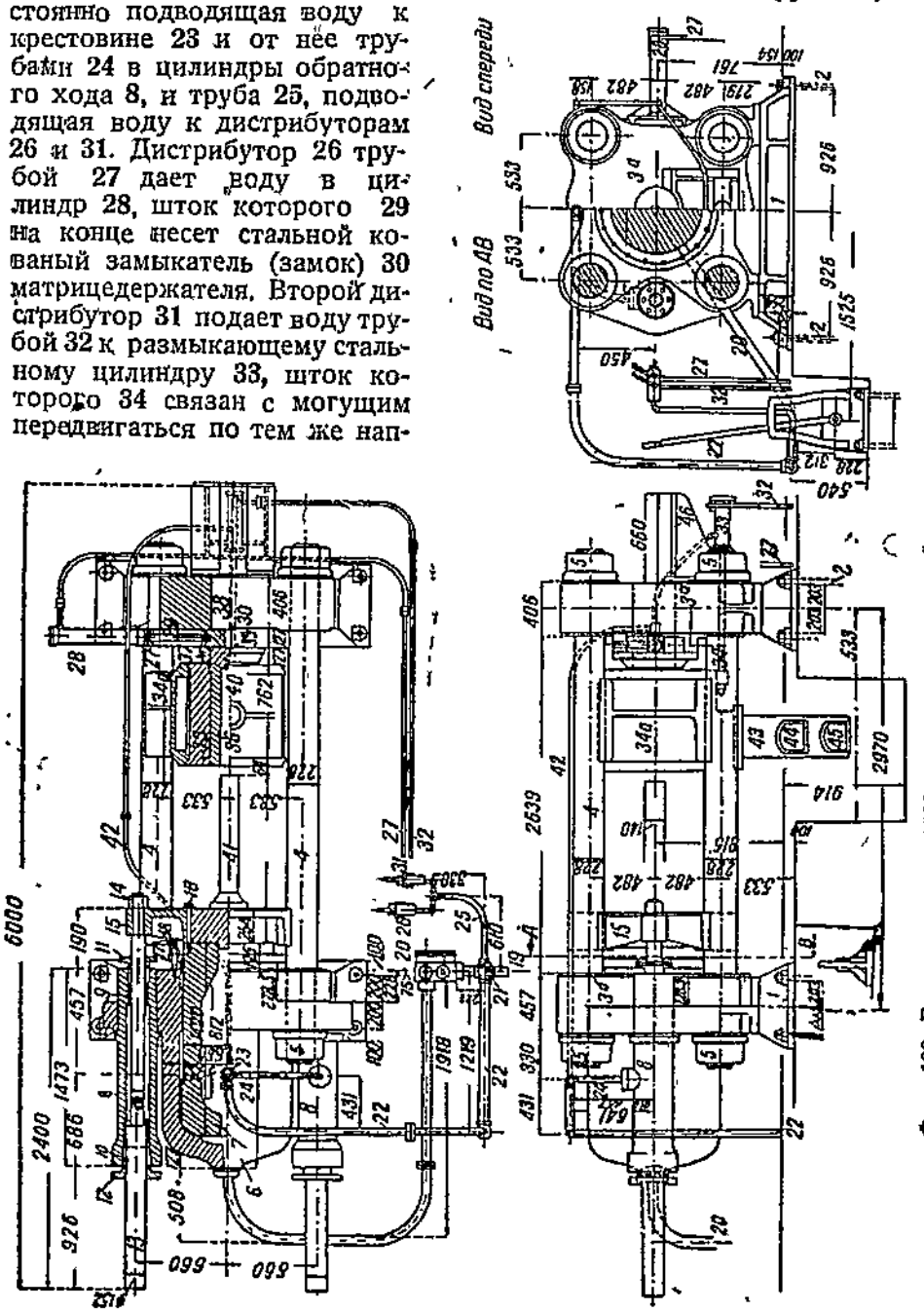
На фиг. 128 изображен гидравлический 1000-т (Англия) пресс прямого действия для прессования прутков. Он состоит из следующих частей.

На двух фундаментных чугунных плитах **1**, укрепленных с помощью четырех фундаментных болтов **2** каждая, установлены передняя **3а** и задняя **3б** стальные станины, связанные между собой четырьмя толстыми болтами **4** с массивными стальными гайками **5**.

В задней станине находится стальной главный рабочий цилиндр **6**, в котором ходит стальной литой плунжер **7**, и два стальных цилиндра обратного хода **8** с бронзовыми втулками **9** и **10** и стальными сальниковыми крышками **11** и **12**, также с бронзовыми втулками в них. Обратное движение главного плунжера **7** совершается стальными плунжерами **13**, связанными гайками **14** со стальным ползуном **15**, ходящим, как по направляющим, по четырем стяжным болтам **4**. К этому же ползуну прикреплен шпильками **16** стальной рабочий плунжерный поршень **7**. Для уплотнения набивки вокруг этого поршня имеется стальная же сальниковая крышка **17**, нажимаемая гайками шпилек **18**.

Вода высокого давления от насосов и аккумуляторов подводится к прессу трубой **19** и при помощи специального крана (дистрибу-

тора) 20 во время рабочего хода поршня подается в цилиндр 6. От той же трубы 19 на крестовине 21 ответвляется труба 22, постоянно подводящая воду к крестовине 23 и от нее трубами 24 в цилиндры обратного хода 8, и труба 25, подводящая воду к дистрибуторам 26 и 31. Дистрибутор 26 трубой 27 дает воду в цилиндр 28, шток которого 29 на конце несет стальной кованый замыкатель (замок) 30 матрицедержателя. Второй дистрибутор 31 подает воду трубой 32 к размыкающему стальному цилиндру 33, шток которого 34 связан с могущим передвигаться по тем же направляющим болтам 4 стальным корпусом контейнера 34а. Внутри него помещается толстый стальной цилиндр 35 (рубашка контейнера), а в нем рабочий из специальной жароупорной стали цилиндр 36 (втулка контейнера), в который при прессовании закладываются нагретые до соответствующей температуры слитки. Перед контейнером устанавливается в стальном кольце 37 вводимый через отверстие 38 в передней станине матрицедержатель 39. В передней его части, в



Фиг. 128. Гидравлический 1000-т пресс прямого действия для прессовки прутков

гнездо 40, обращенное к контейнеру, помещается откованная из специальной высокожароупорной стали матрица. Заложенный в контейнер 36 слиток подвергается сильному давлению сделанного также из специальной высокожароупорной инструментальной стали рабочего пуансона 41, и выдавливаемый материал течет через соответствующего сечения отверстие в матрице 40 и отверстие в станине 38 в направлении движения пуансона 41.

Необходимо отметить, что в этом прессе цилиндры обратного хода 8 находятся под постоянным давлением, так как вода к ним подводится помимо дистрибутора, т. е. существует постоянно определенной величины сила, отводящая ползун 15 назад. Это уменьшает рабочее давление пуансона и потому представляет недостаток данной установки. Так же точно постоянно подается от крестовины 23 трубой 42 вода к нижней части цилиндра 28, в котором ходит поршень со штоком 29, создавая таким образом постоянную силу, отводящую назад замыкатель 30. Той же трубой 42 подается вода к левой части цилиндра 33, прижимая таким образом контейнер 36 к матрице 40. Следовательно, подачей трубой 27 воды в цилиндр 28 будет создаваться некоторое избыточное давление, которым замыкатель 30 вводится на место для закрепления матрицедержателя. Так же трубой 32 в цилиндр 33 подается избыточное давление, которое будет отводить корпус контейнера 34 от матрицы по окончании прессования.

Для обогрева контейнера в низу корпуса 34а ранее была приделана особая печь 43 с дверками 44 для топки с зольником 45 (теперь все эти детали удалены).

Передняя часть матрицедержателя, так же как и прилегающий конец контейнера, сделана на конус, и обе поверхности плотно пригнаны одна к другой. Такое соединение вполне гарантирует от возможности во время прессования выдавливания металла в конце контейнера. Рабочий пуансон 41 укрепляется в ползуне 15 с помощью особого фланцевого соединения. Передняя его часть плотно охватывает пуансон, а задняя прикреплена к ползуну. Принятая в прессах описанной конструкции система движения ползуна 15, а также корпуса контейнера 34, а по четырем стяжным болтам нерациональна, так как, хотя эти подвижные части и имеют хорошие направляющие, а широкие опорные поверхности гарантируют незначительный их износ и недопущение перекоса системы, но при продолжительной работе нагревание контейнера передается корпусу 34а и он, расширяясь и потому заклиниваясь между направляющими 4, теряет способность передвигаться. Последнее же необходимо в данной системе для освобождения замка 30 и возможности выдать матрицедержатель с матрицей на передний столик 46 пресса.

Операция прессования производится следующим образом. Нагретый до соответствующей температуры слиток подается от печи на чугунный стол 46 перед отверстием 38 и длинным стержнем вталкивается в контейнер 36. Следом за ним также вводится матрицедержатель 39 с матрицей 40, вдвигается замыкатель 30, контейнер 36 прижимается к матрице, дается давление в главный гидравлический цилиндр 6, поршень 7 с пуансоном 41 подводится к слитку, сначала сжимает усадочную раковину, обычно находящуюся ближе к пуансону 41, а затем полным давлением прессует слиток, заставляя его течь через соответствующего сечения отверстие в матрице.

По окончании прессования (часть слитка остается в контейнере неиспользованной) корпус контейнера 34 а с помощью дистрибутора 31 давлением воды в цилиндре 33 справа отводится влево. Замок 30 с помощью переключения дистрибутора 26 на выпуск воды

из наружной части цилиндра 28 под влиянием постоянного давления, передаваемого по трубе 42, отводится пуансоном цилиндра 28 в сторону, контейнер отводится немного назад. Рабочему пуансону 41 дается снова ход вперед, и он проталкивает из контейнера наружу на стол 46 остаток слитка совместно с матрицедержателем и матрицей. Выпрессованный пруток отрезается гидравлическими ножницами или дисковой пилой. Остаток слитка отделяется от матрицы, последнюю бросают для охлаждения в воду. В это время пуансон 41 отводится назад, в контейнер вводится новый слиток, — и работа в таком же порядке начинается сначала.

Метод подогрева контейнера этого пресса крайне неудобен и нерационален, так как не поддается никакому регулированию. У новых прессов подогрев контейнера до 400—450° производится либо с помощью введенных в просвет между корпусом и рубашкой контейнера нихромовых электросопротивлений, либо индукционным методом. Второе устройство — более дорогое и сложное, но в эксплоатации более рациональное.

Недостатком пресса описанной конструкции является то, что даже холостой его ход, т. е. приближение пуансона 41 к слитку, делается водой высокого давления и главным гидравлическим поршнем 7, т. е. с большим расходом этой дорогой энергии. В более совершенных конструкциях данная работа выполняется либо небольшими вспомогательными цилиндрами, причем главный цилиндр наполняется автоматически водой из расположенного сзади или выше его резервуара, в который она попадает из этого же цилиндра во время обратного хода поршня, либо, что значительно лучше, водой низкого давления 10—12 кг/см² из специального большой емкости резервуара (виндкессель), в который вода из главного цилиндра вталкивается при обратном ходе, сжимая находящийся в верхней его части воздух до указанного давления. Этой водой низкого давления и производятся наполнение главного цилиндра и работа холостого хода пресса при движении главного плунжера и иглы вперед.

Так как вода от крестовины 21 подводится к цилиндрам обратного хода 8 постоянно без дистрибутора, то рабочая мощность пресса снижается на величину этого постоянного противодавления обратного хода. Это, конечно, упрощает управление работой пресса и конструкцию дистрибутора 20, но такое упрощение влечет за собой снижение силы давления пресса. Так, при давлении воды p_1=200 кг/см² и диаметре (см. фиг. 128) главного плунжера D=660 мм пресс мог бы дать давление

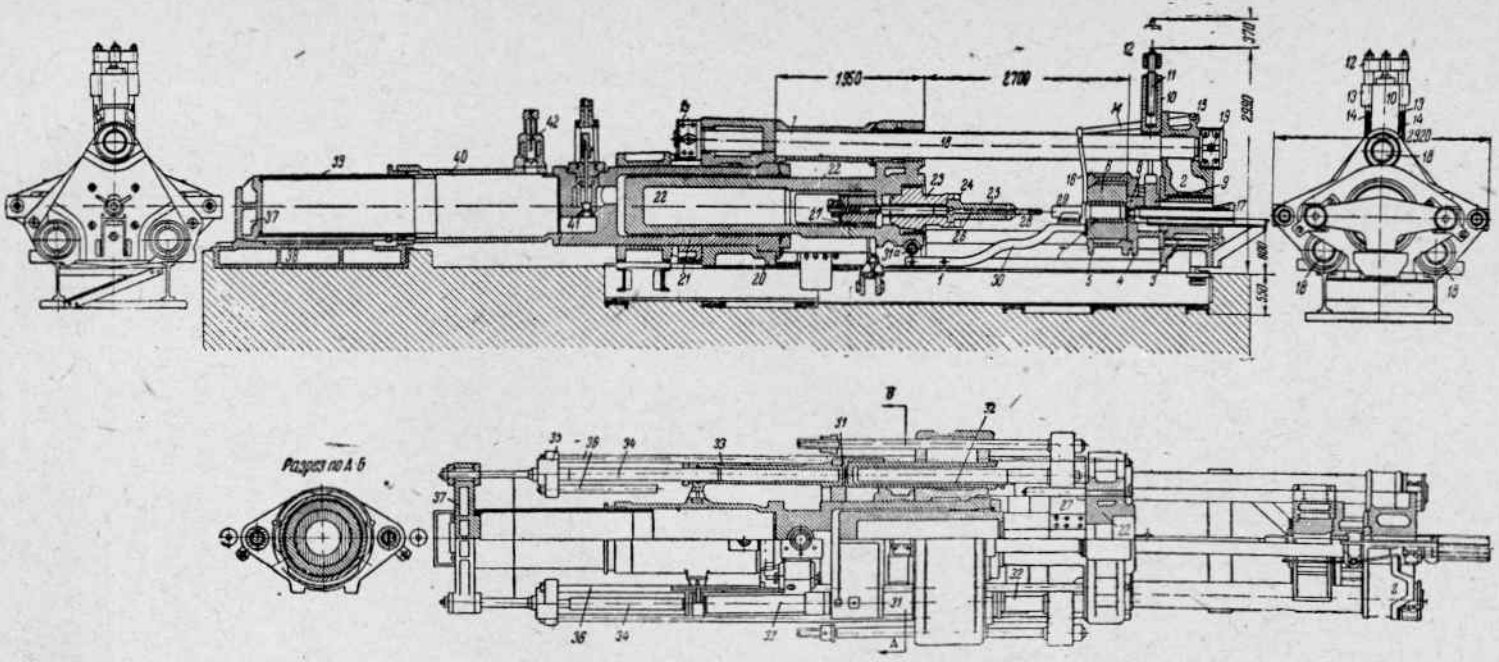
$$P_1=\frac{\pi D^2}{4}p_1=\frac{3{,}14\cdot 66^2}{4}\cdot\frac{200}{1000}=680{,}0\text{ т},$$

но наличие постоянного противодавления в двух цилиндрах обратного хода снижает эту мощность на величину

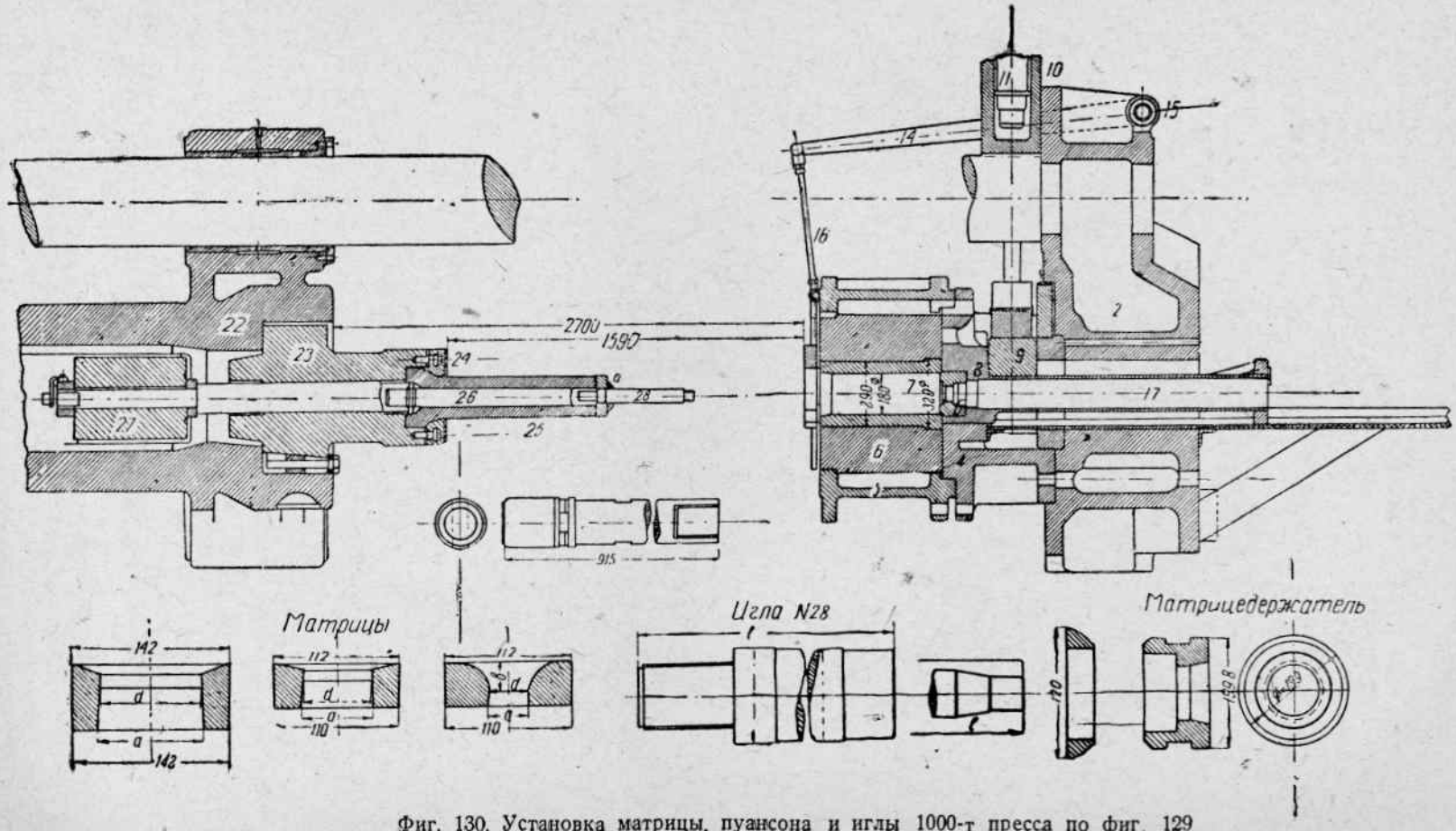
$$P=2\cdot\frac{\pi}{4}(15^2-10^2)\cdot\frac{200}{1000}=2\cdot\frac{98{,}175\cdot 200}{1000}=39{,}3\text{ т},$$

т. е. фактически мощность пресса P_0 будет в действительности равна только 641 т, или на 5,8% менее номинальной.

Более усовершенствованной конструкции, хотя также старой, 1000-т пресс прямого действия изображен на фиг. 129. Этот пресс прямого действия служит для производства и прутков и труб и дает при давлении воды 120 кг/см² мощность в 600 т, при 160 кг/см² — 800 т и при 200 кг/см² 1000 т. Ход главного плунжера 1500 мм. Все его части подробно указаны в подписи под фигурой, почему здесь отдельного описания пресса не приводится.

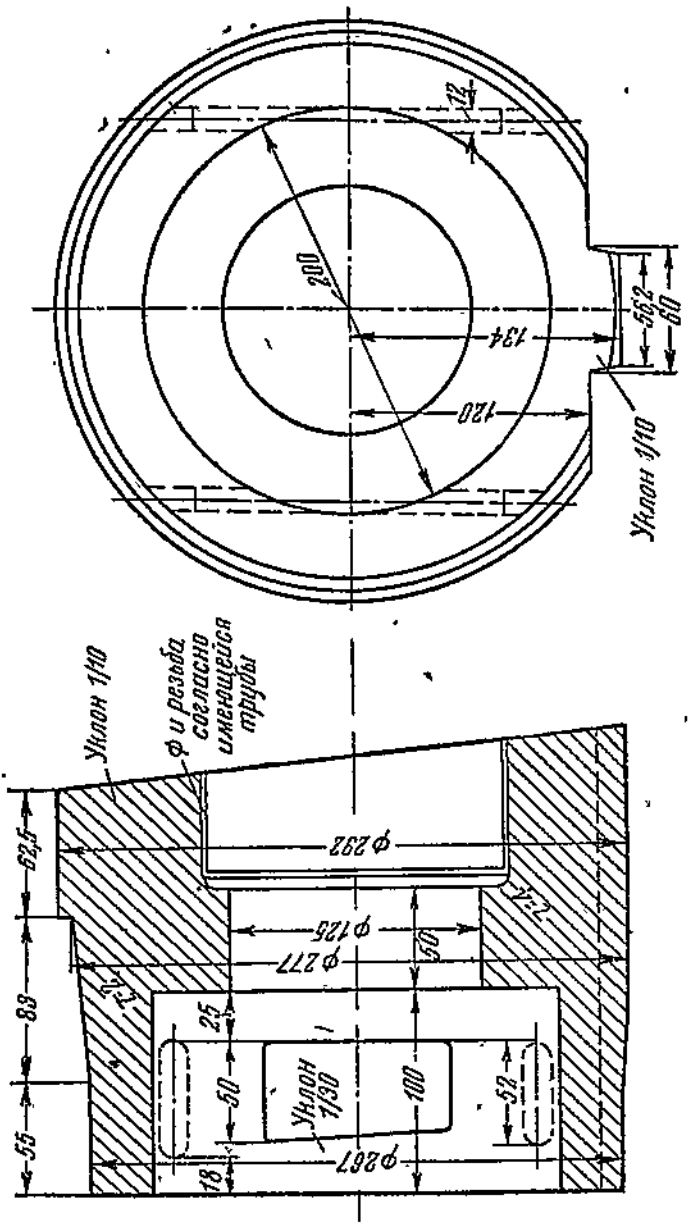


Фиг. 129. Гидравлический пресс мощностью в 1000 т для производства труб, прутков и проволоки по прямому методу: 1 — фундаментная плита; 2 — передняя станина (крестовина); 3 болты, связывающие переднюю станину 2 со стальной рамой 4; 4 — стальная рама; 5 — неподвижной корпус контейнера; 6 — контейнер (литье обычной стали); 7 — втулка контейнера высокой жароупорной стали; 8 — матрицедержатель с матрицей; 9 — замок; 10 — гидравлический цилиндр, вводящий замок (вниз); 11 — скалка цилиндра 10; 12 — траверса; 13 — тяги траверсы; 14 — рычаги, вращающиеся около валиков 15; 15 — валики; 16 — стержни; 17 — передвижная труба, связанная с матрицедержателем 8; 18 — стяжные болты (колонны), связывающие переднюю станину с задней; 19 — литые гайки болтов 18; 20 — задняя станина; 21 — главный цилиндр пресса; 22 — главный плунжер; 23 — фонарь пуансона; 24 — свободно надетый на пуансон установочный фланец; 25 — пуансон; 26 — иглодержатель; 27 — подвижная траверса иглодержателя; 28 — игла; 29 — слиток; 30 — вращающийся кронштейн столика для слитка; 31 — цилиндры хода вперед иглы; 32 — скалки цилиндров 31; 33 — цилиндры обратного хода главного плунжера; 34 — скалки цилиндров 33; 35 — траверсы скалок 34, связанные тягами с передней частью главного плунжера; 36 — тяги; 37 — ползун; 38 — фундаментная плита для ползуна 37; 39 — передвижной цилиндр, входящий в цилиндр 40; 40 — цилиндр; 41 — приводной перепускной клапан; 42 — предохранительный клапан



Фиг. 130. Установка матрицы, пуансона и иглы 1000-т пресса по фиг. 129

Более детально укрепление матрицы, пуансона и иглы, а также и самые эти части показаны на фиг. 130, на которой они имеют те же номера, что и на основном чертеже (фиг. 129). На фиг. 131 изображена головка матрицедержателя этого пресса (по основному чертежу на фиг. 129 деталь 8).

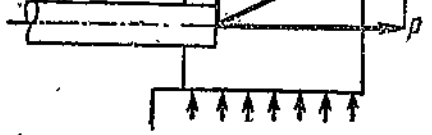


Фиг. 131. Головка матрицедержателя 1000-т пресса по фиг. 129

Следует обратить внимание на разницу в форме замка у прессов на фиг. 128 и 129. У первого пресса замок имеет параллельные стенки. Поэтому для облегчения размыкания и для возможности введения его на место контейнеру требуется небольшое передвижение. Второй пресс имеет неподвижный контейнер. Это, конечно, значительно упрощает конструкцию пресса и его управление, но требует устройства замка и головки матрицедержателя с косо срезанными поверхностями, иначе ввод и вывод замка были бы затруднительны и нельзя было бы добиться их плотного прилегания одного к дру-

гому: могли бы быть перекос головки, отход матрицы от стенки контейнера и выдавливание металла в этот промежуток. Такую систему замка при неподвижном контейнере сейчас применяют очень часто, но она должна быть признана менее надежной. Отверстия в головке матрицедержателя (фиг. 131) сделаны для того, чтобы в случае запрессовки в ней матрицедержателя можно было посредством введения сюда клина разъединить эти детали.

Описанный пресс (фиг. 129) представляет уже более совершенную конструкцию, чем первый (фиг. 128). На нем можно прессовать и прутки, и трубы. Холостой ход вперед осуществляется цилиндрами 31 с небольшим расходом воды высокого давления. Собран он на основной массивной железной раме. Подача слитка в контейнер идет из середины, что значительно удобнее, так как для выталкивания остатка из контейнера не приходится отводить пуансон и контейнер назад и затем вторым ходом после отвода замка проталкивать слиток и т. п. Но имеются и недостатки, не позволяющие хорошо его настроить, работать со сплошными слитками, прошивать их в контейнере и давать хорошие, равностенные кругом трубы. Дело в том, что холостой ход пресса, т. е. введение слитка в контейнер, производится у этого пресса иглой. Если работа ведется со слитками полыми, то введенный в контейнер иглой слиток по приходе иглы в крайнее (на фигуре правое) положение начинает затем прессоваться пуансоном, и через матрицу будет выходить труба более или менее равностенная. При работе же со слитками не полыми, а цельными, потребовалось бы во избежание получения разностенной трубы и порчи иглы пустить иглу с пуансоном заподлицо, чтобы прежде прошивки осадить — запрессовать — слиток в контейнере и заполнить свободное пространство в нем. Если такой запрессовки не сделать, то сопротивление материала для иглы при прошивке снизу будет больше, чем сверху, игла, естественно, сомнется вверх (фиг. 132) и в результате получится разностенная труба. Произвести такое осаживание слитка в этом прессе, конечно, возможно, но тогда пришлось бы на это затрачивать в довольно большом количестве воду высокого давления и, следовательно, сделать работу менее рентабельной. Во-вторых, конструкция пресса, хотя и допускает возможность некоторой настройки пуансона и иглы, но недостаточно совершенна; и трубы получаются довольно разностенные. Поэтому на таком прессе обычно раньше вырабатывали трубы только из полых слитков, а в настоящее время после установки прессов новой конструкции, допускающих точную настройку и не имеющих указанного недостатка, на этом прессе вырабатывают только прутки.

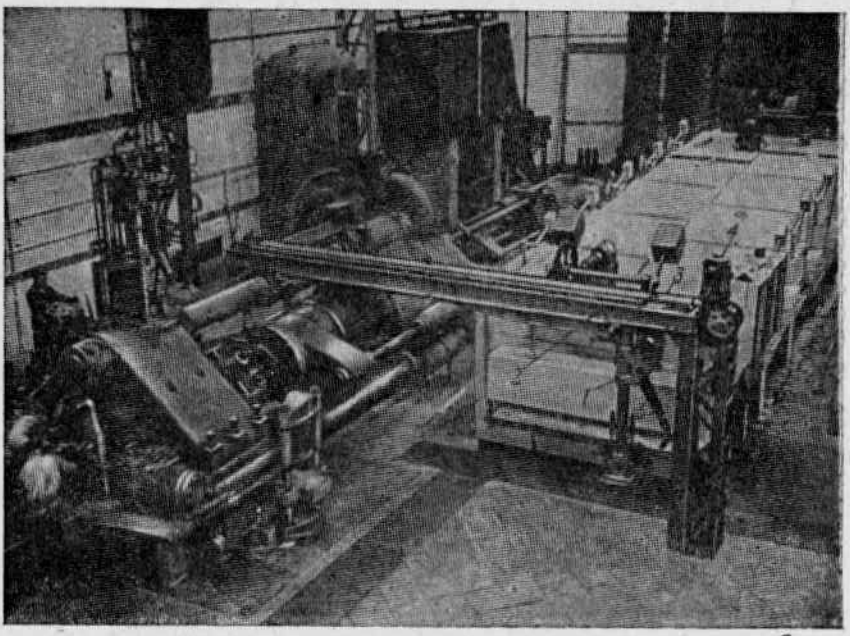


Фиг. 132

Следует также отметить, что система использования телескопического устройства для холостого хода главного плунжера и наполнения главного цилиндра водой не может считаться удачной. Сальники постоянно текут, и держать их исправными затруднительно. Производить холостой ход водой низкого давления (для этого требуется давление 10—12 кг/см²) нельзя, так как подобное устройство позволяет наполнять цилиндр только водой совершенно низкого давления, недостаточного для передвижения плунжера. Осаживание слитка в контейнере требует довольно большого расхода воды высокого давления. Дать независимые движения пуансону и игле как при прямом, так и при обратном ходе нельзя, что фактически лишает возмож-

ности прошивать слитки в контейнере и заставляет работать с полыми слитками. Следует также отметить, что в новых конструкциях настройка прессов значительно более усовершенствована. Также выброшено и телескопическое устройство для наполнения при холостом ходе вперед главного цилиндра водой. Все новые пресса сейчас работают при двух аккумуляторах: один низкого давления, так называемый виндкессель, водой которого совершаются холостые ходы главного плунжера и плунжера иглы, и аккумулятор высокого давления, питающий все цилиндры и используемый только для получения полного рабочего давления.

На фиг. 133 изображен прутково-трубный пресс прямого действия последней конструкции давлением 1600 т, снабженный всеми новейшими приспособлениями для облегчения тяжелой работы у пресса: гидравлическими ножницами, циркулярной пилой, цилиндрами для ввода и вывода головки матрицедержателя и т. п. Все его части указаны в подписи под фигурой, поэтому отдельного описания его не делается. Равным образом после сказанного выше о работе первых двух прессов порядок работы этого пресса не требует особого пояснения. На фиг. 134 показан общий вид установки 2400-т



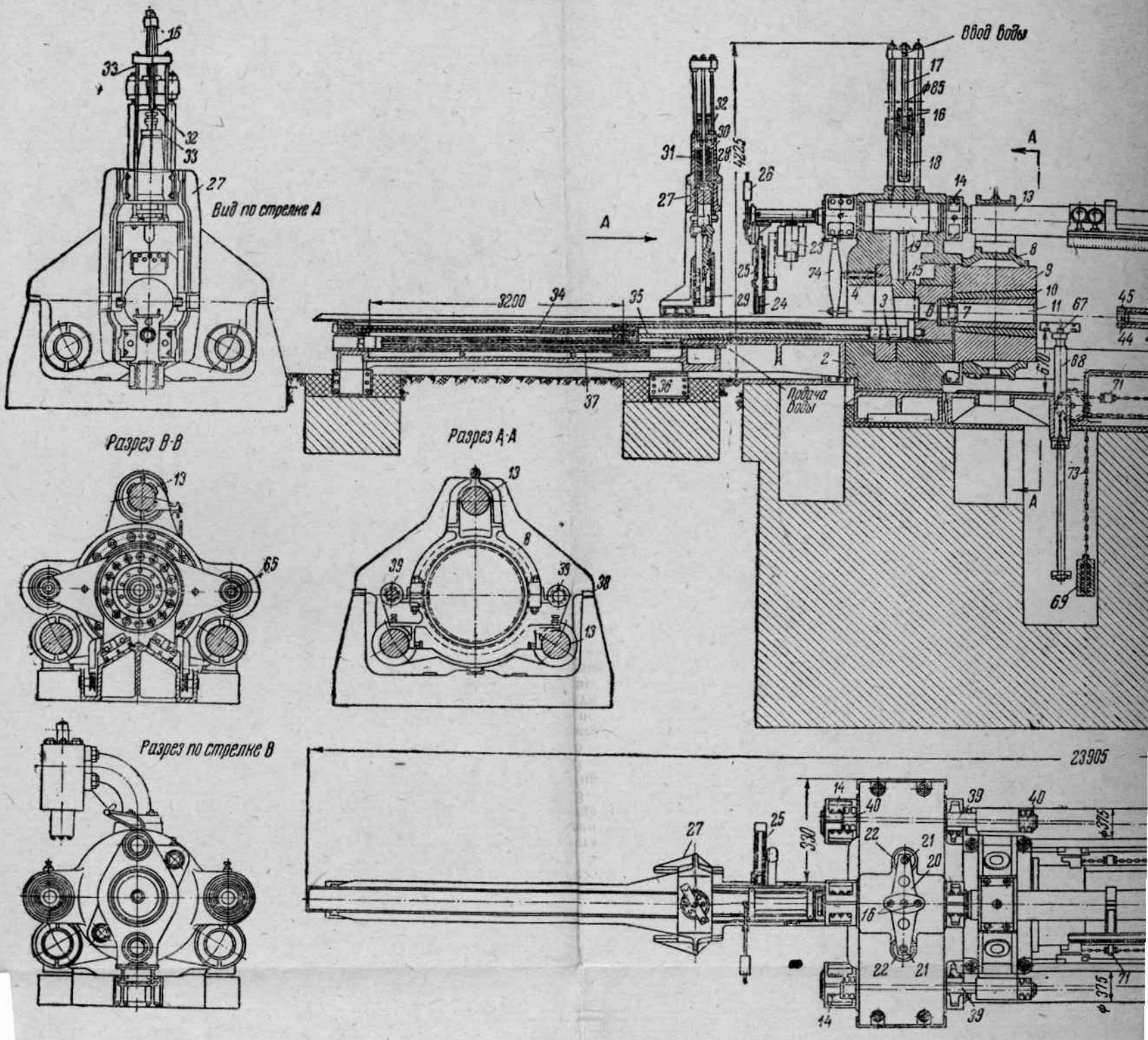
Фиг. 134. Общий вид установки 2400-т прутково-трубного пресса типа фиг. 133 (печь, механизм для подачи слитков от печи к прессу и ввода их в контейнер, пресс, слева от него дистрибуторы, далее виндкессель и вдали пневматический аккумулятор)

прутково-трубного пресса, на фиг. 135 — такого же 3500-т пресса и на фиг. 136—5000-т пруткового [1].

На фиг. 137 дана схема установки и управления совершенно оригинальной конструкции американских прессов в 500—750 и 1000 т [2] для производства прутков и профилей. Пресса эти работают без аккумуляторной установки, каждый непосредственно от своей насосной

[1] На фиг. 134—136 показаны не только общий вид прессовых установок, но и вспомогательные устройства для подачи слитков.

[2] Baldwin Southwark Corporation-Philadelphia, США.

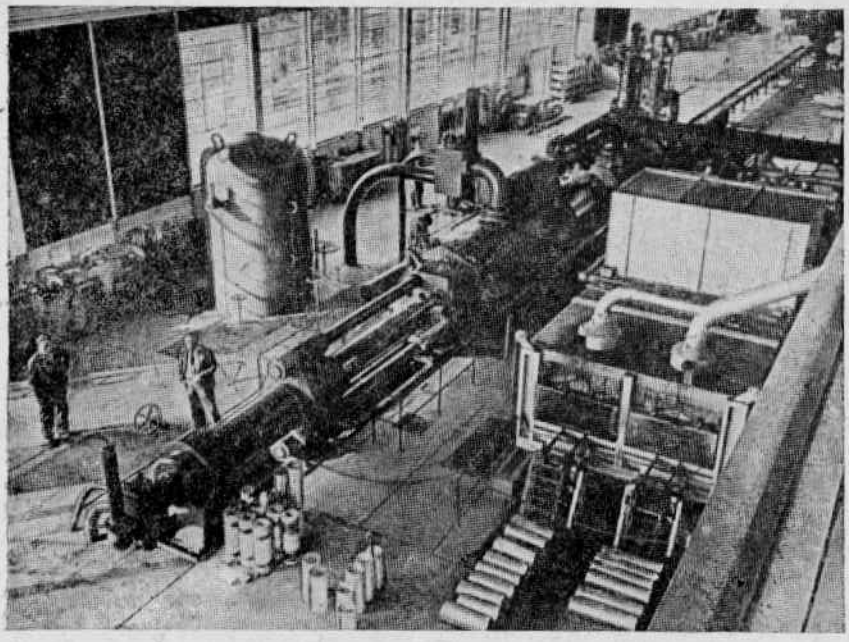


Фиг. 133. Горизонтальный трубно-прутковый пресс:

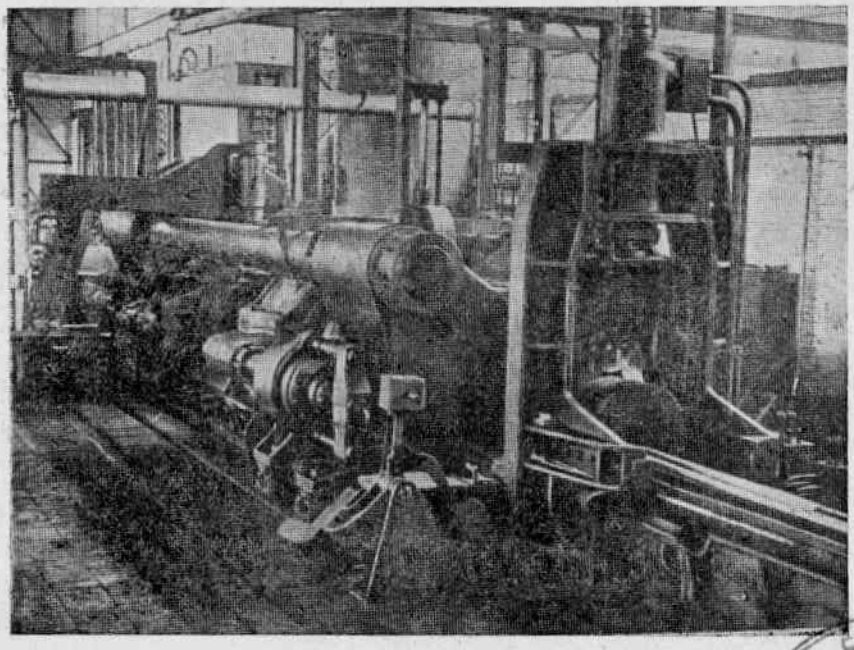
1 — чугунная фундаментная плита; 2 — передняя станина пресса; 3 — клиновая вставка; 4 — шпильки, укрепляющие деталь 3 в станине 2; 5 — головка матрицедержателя; 6 — матрицедержатель; 7 — матрица; 8 — корпус контейнера; 9 — рубашка контейнера; 10 — насадка втулки контейнера; 11 — втулка контейнера; 12 — задняя станина пресса с главным цилиндром; 13 — стяжные болты; 14 — гайки стяжных болтов; 15 — замок головки матрицедержателя; 16 — стойки с верхней поперечиной, в которой укреплен неподвижный плунжер 17; 17 — пустотелый плунжер, подающий воду высокого давления в цилиндр 18; 18 — подвижный цилиндр, скользящий по направляющим; 19 — тяги; 20 — удлиненный фланец; 21 — два плунжера, входящие в цилиндры 22; 22 — цилиндры, поднимающие замок 15 вверх; 23 — мотор привода пилы; 24 — пила для отрезки остатка; 25 — рычаги пилы с противовесом; 26 — противовес; 27 — корпус гидравлических ножниц для отрезки остатка от выпрессованного изделия; 28 — плунжер ножниц; 29 — нож; 30 — цилиндр плунжера 28; 31 — цилиндр для подъема ножа 29; 32 — плунжер обратного хода — подъема ножа; 33 — тяги; 34 — полый плунжер; 35 — подвижный цилиндр, управляющий вводом головки матрицедержателя 5 на место; 36 — полый плунжер; 37 — цилиндр, управляющий выводом головки 5 вместе с матрицей и остатком слитка в контейнере; 38 — опорные поверхности корпуса контейнера; 39 — болты, связывающие корпус контейнера 8 с

Фиг. 133. Горизонтальный трубно-прутковый пресс:

1 — чугунная фундаментная плита; 2 — передняя станина пресса; 3 — клиновая вставка; 4 — шпильки, укрепляющие деталь 3 в станине 2; 5 — головка матрицедержателя; 6 — матрицедержатель; 7 — матрица; 8 — корпус контейнера; 9 — рубашка контейнера; 10 — насадка втулки контейнера; 11 — втулка контейнера; 12 — задняя станина пресса с главным цилиндром; 13 — стяжные болты; 14 — гайки стяжных болтов; 15 — замок головки матрицедержателя; 16 — стойки с верхней поперечиной, в которой укреплен неподвижный плунжер 17; 17 — пустотелый плунжер, подающий воду высокого давления в цилиндр 18; 18 — подвижный цилиндр, скользящий по направляющим; 19 — тяги; 20 — удлиненный фланец; 21 — два плунжера, входящие в цилиндры 22; 22 — цилиндры, поднимающие замок 15 вверх; 23 — мотор привода пилы; 24 — пила для отрезки остатка; 25 — рычаги пилы с противовесом; 26 — противовес; 27 — корпус гидравлических ножниц для отрезки остатка от выпрессованного изделия; 28 — плунжер ножниц; 29 — нож; 30 — цилиндр плунжера 28; 31 — цилиндр для подъема ножа 29; 32 — плунжер обратного хода — подъема ножа; 33 — тяги; 34 — полый плунжер; 35 — подвижный цилиндр, управляющий вводом головки матрицедержателя 5 на место; 36 — полый плунжер; 37 — цилиндр, управляющий выводом головки 5 вместе с матрицей и остатком слитка в контейнере; 38 — опорные поверхности корпуса контейнера; 39 — болты, связывающие корпус контейнера 8 с передней станиной пресса 2; 40 — гайки стяжных болтов 39; 41 — главный плунжер переднего хода полого пуансона; 43 — игла; 44 — шайба; 45 — прессшайба на конце пуансона 42 (шайбы 44 и 45 делаются чуть больше диаметров иглы и пуансона для уменьшения их изнашиваемости); 46 — головка-ползун главного плунжера; 47 — вставка; 48 — фланец, устанавливающий с помощью конца 49 пуансон 42; 50 — иглодержатель; 51 — переходная муфта иглодержателя; 52 — пустотелый шток иглодержателя; 53 — гайка, скрепляющая шток 52 с ползуном 54; 54 — ползун; 55 — тяга к указателю 56 хода иглы на шкале 57; 58 — цилиндр прямого хода иглы; 59 — плунжер цилиндра 58, связанный со штоком иглодержателя 52; 60 — ограничители хода иглы; 61 — болты, скрепляющие корпус главного цилиндра с цилиндром прямого хода иглы; 62 — подвижные цилиндры обратного хода иглы, связанные с ползуном 54; 63 — полые плунжеры цилиндров 62; 64 — цилиндры обратного хода главного плунжера 41; 65 — плунжеры цилиндров 64, связанные с головкой-ползуном 46; 66 — железные кожухи, закрывающие плунжеры 65; 67 — столик для подачи слитков; 68 — опускающийся реечный стержень; 69 — груз; 70 — цепи с укрепленными на них бобышками; 71 — бобышки; 72 — лапка; 73 — зубчатое колесо; 74 — приспособление для выталкивания остатка слитка из матрицы после отрезки отпрессованного изделия пилой 24 или ножом 29; 75 — призматические направляющие для передней части главного плунжера 46

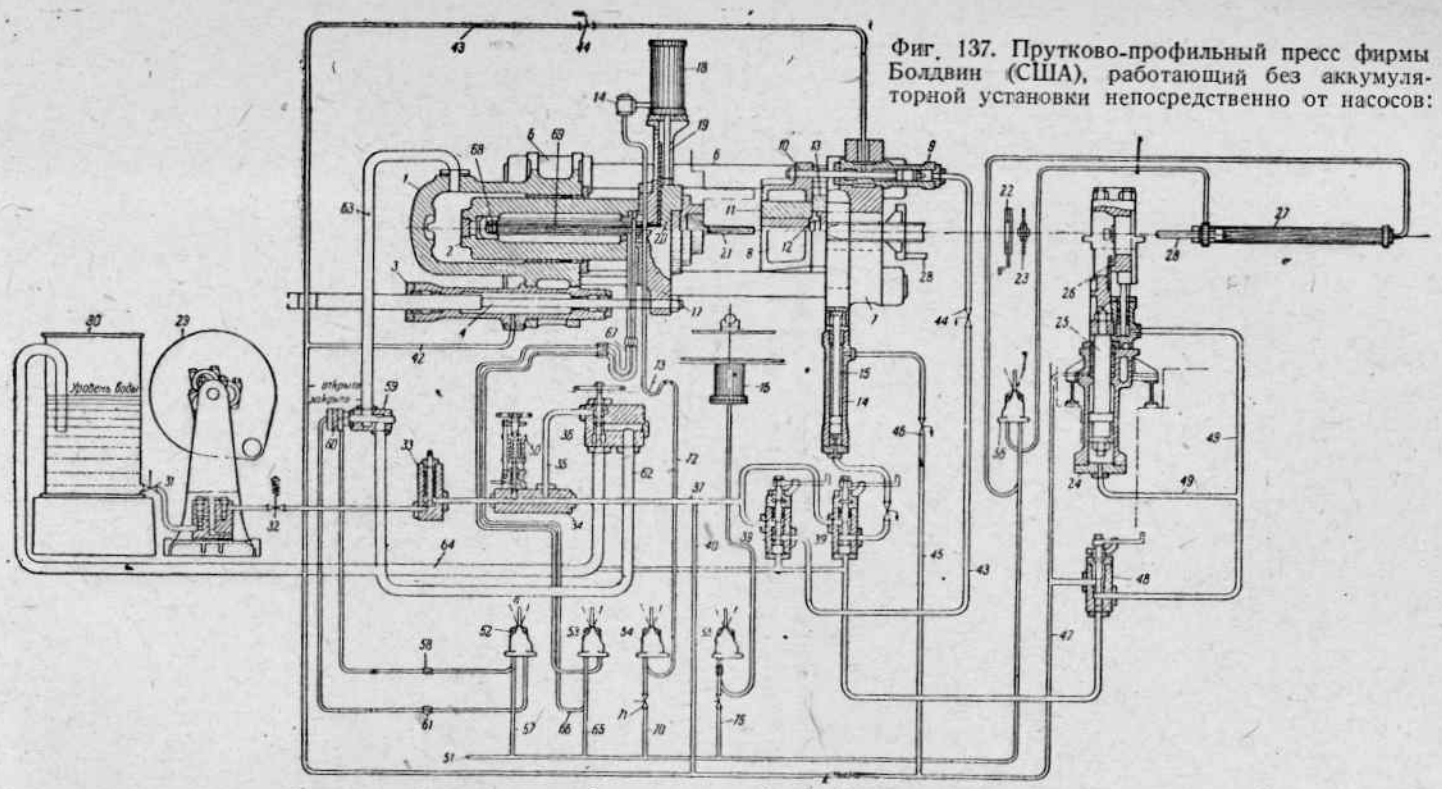


Фиг. 135. Общий вид установки 3500-т прутково-трубного пресса фирмы Шлеман со стороны, обратной той, которая показана на фиг. 134



Фиг. 136. Общий вид установки прутково-профильного 5000-т пресса

СССР Дніпропетровська бібліотека імені ЛЕНІНА



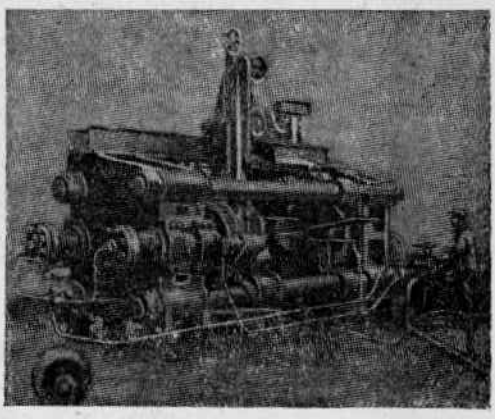
Фиг. 137. Прутково-профильный пресс фирмы Болдвин (США), работающий без аккумуляторной установки непосредственно от насосов:

1 — главный цилиндр; 2 — главный плунжер; 3 — цилиндры (два) обратного хода главного плунжера; 4 — ступенчатая скалка цилиндра обратного хода 3; 5 — задняя рама; 6 — стяжные болты (4 шт.); 7 — передняя рама; 8 — корпус контейнера; 9 — цилиндры (два) передвижения контейнера; 10 — поршневая скалка цилиндра; 11 — контейнер (двойной с рубашкой); 12 — матрицедержатель; 13 — головка матрицедержателя; 14 — цилиндр замка; 15 — поршневой шток замка; 16 — воздушный цилиндр для подъема столика со слитком к контейнеру; на конце главного плунжера 2 укреплена рама 17, которая служит подставкой для воздушного цилиндра 18, поршневой шток 19 этого цилиндра связан с ползуном 20, поднимающим и опускающим пуансон 21; 22 — задерживатель прессостатка; 23 — пила; 24 — цилиндры (два) ножниц; 25 — шток цилиндра ножниц; 26 — нож; 27 — воздушный цилиндр для удаления прессостатка; 28 — тяги (две), скрепляющие цилиндр 27 с передней рамой пресса

установки и отличаются компактностью и быстротой работы, что достигается почти полным отсутствием холостого хода главного плунжера и применением пневматического управления его устройствами. В подписи под фиг. 137 дано подробное перечисление всех его частей, что позволяет хорошо разобраться в этой конструкции.

Горизонтальные пресса с обращенным методом работы

При прессовании по прямому методу (как мы видели выше) для обеспечения надлежащих качеств изделий в контейнере приходится оставлять остаток слитка довольно больших размеров, доходящий в прессах даже новых конструкций с подогревом контейнера до 22—26% при работе без рубашки и до 12% при работе с рубашкой. В прессах, работающих по обращенному методу, остаток слитка уменьшается до 6—8%, а иногда и до 5—6%. Кроме того, работа по этому методу требует затраты на 25—40% меньше энергии и обеспечивает получение доброкачественной сердцевины прутка и более равномерных его качеств по всему сечению. Однако этот способ имеет и свои недостатки: 1) структура изделий получается более крупнозернистой; 2) на прессах с обращенным методом работы нельзя прессовать трубы; 3) сортамент выпускаемых прутков и профилей значительно сокращается (из-за необходимости обеспечить надлежащую прочность полого пуансона); 4) тонкие прутки и проволоку можно прессовать через меньшее число отверстий по сравнению с прессами, работающими по прямому методу; 5) поверхность изделий получается хуже, чем при прямом методе, что затрудняет их дальнейшую протяжку на волочильных станах; 6) пресса с обращенным методом работы более сложны по своей конструкции и, естественно, дороже. Поэтому до последнего времени большей частью получали распространение так называемые комбинированные пресса, допускающие работу тем и другим способами. В последние годы, однако, от этих прессов стали отказываться и прессостроительные фирмы стали строить почти исключительно пресса с прямым методом работы.



Фиг. 138. Первый пресс, осуществивший прессование по обращенному методу

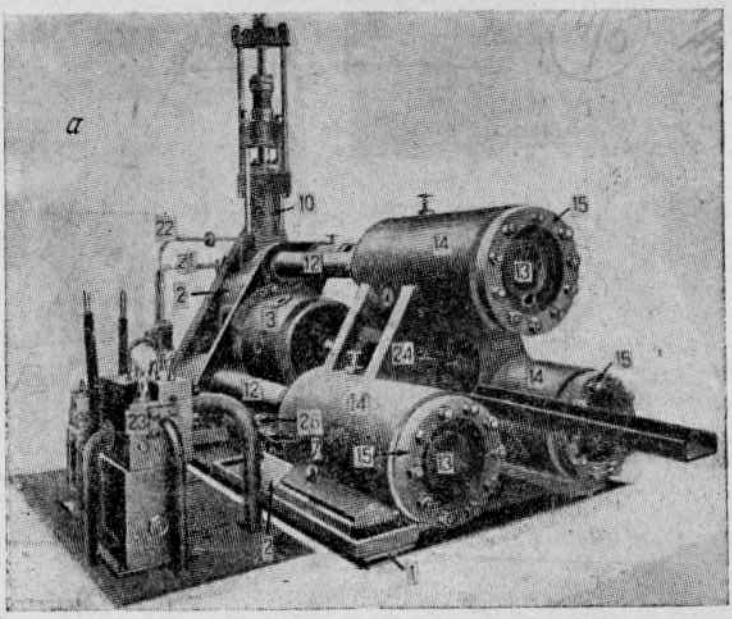
Первый пресс, осуществивший «обращенный» принцип прессования, был сконструирован в 1921 г. Джендерсом в Англии [1]. Вид его показан на фиг. 138 [2].

На фиг. 139, a дано изображение такого типа пресса позднейшей конструкции и на фиг. 139, b — его чертеж.

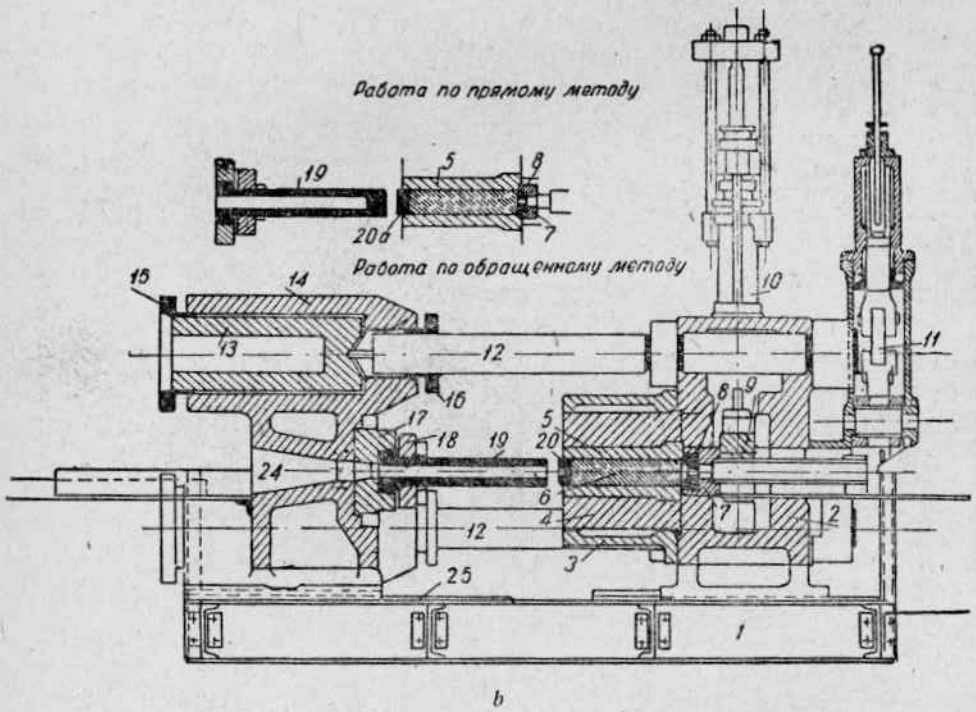
Как указывалось выше, пресса с чисто обращенным методом прессования вследствие ряда недостатков распространения не получили, и на практике применяются комбинированные пресса.

[1] Описание этого пресса помещено в журнале «The Metal Industry» за 1921 г., стр. 263—267, а изготовлен был фирмой Henry Berry and Co в Англии в 1924 г. Этот пресс был также описан в журнале «Engineer» и «Engineering» от 12 сентября 1924 г.

[2] R. Genders, The Extrusion of Metals, The Metal Ind. (L). 1932. v. XL. № 13, p. 345—349, fig. 10.



а

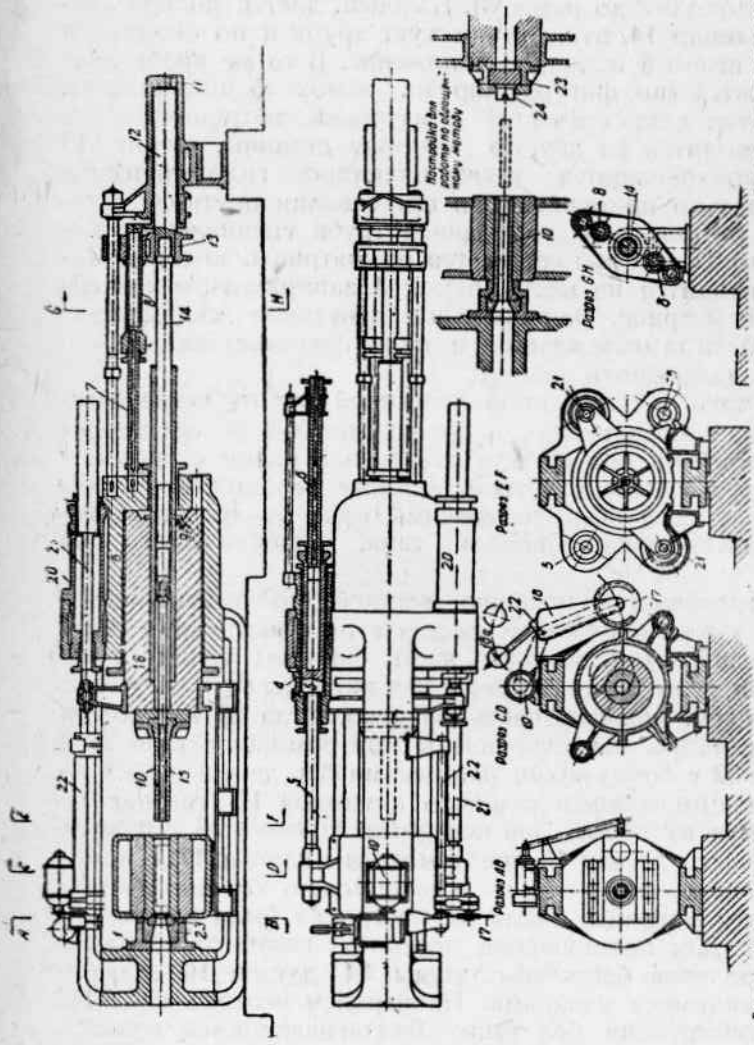


b

Фиг. 139. Гидравлический пресс системы «Гидравлик» с обращенным методом работы:

1 — железная клепаная рама из двутавровых балок; 2 — передняя станина пресса, с которой помощью болтов скреплен корпус контейнера 3; 4 и 5 — втулки контейнера; 6 — слиток; 7 — матрицедержатель; 8 — глухая шайба (при прессовании по прямому методу вместо глухой шайбы вставляется матрица); 9 — замок; 10 — гидравлический цилиндр; 11 — гидравлические ножницы; 12 — пустотелые штоки; 13 — плунжеры; 14 — цилиндры; 15 и 16 — сальниковые крышки; 17 — поддон; 18 — фланец; 19 — полый шток; 20 — прессшайба; 21 и 22 — трубки; 23 — дистрибутор; 24 — отверстие для вывода прессуемого изделия; 25 — направляющие; 26 — цилиндры обратного хода; 27 — плунжеры цилиндров 26

На фиг. 140 изображен такой пресс с оригинальной цельной стальной литой рамой без стяжных болтов. Применение таких рам нельзя считать рациональным, так как места перехода от массивных станин к соединительным балкам небольшого сечения не гарантируют невозможности появления в этих местах каких-либо дефектов. Пресс, изображенный на этом рисунке, настроен вверху для производства труб прямым методом и справа и сбоку — для обращенного метода работы.



Фиг. 140. Комбинированный прутково-трубный пресс Круппа для работы по прямому и обращенному методам:
1 — головка матрицедержателя; 2 — матрицедержатель; 3 — матрица; 4 — цилиндры для передвижения контейнера; 5 — плунжеры цилиндров 4; 6 — полые скалки для подачи воды при движении плунжеров 5 влево; 7 — полые скалки цилиндров 8 для обратного хода иглы; 9 — главный плунжер; 10 — пуансон; 11 — цилиндр прямого хода иглы; 12 — плунжер цилиндра 11; 13 — траверса; 14 — штанга иглодержателя; 15 — игла; 16 — главный цилиндр; 17 — диск пилы; 18 — рычаг пилы; 18 а — контргруз пилы; 19 — мотор для пилы; 20 — цилиндры обратного хода главного плунжера; 21 — плунжеры цилиндров 20; 22 — валик для передвижения и установки пилы; 23 — подкладка под глухую шайбу 24

На фиг. 141 изображен горизонтальный комбинированный 1500-т пресс для производства прутков и труб.

Контейнер **10** посредством видимых на фигуре клиньев может точно устанавливаться в своем корпусе. Это устройство обеспечивает получение труб с одинаковой толщиной стенки, т. е. не эксцентрических. Цилиндры **11** могут дать корпусу **9** и передний и задний ход. Шаровидные шайбы служат также для лучшей центровки иглы **20** и уничтожения влияния перекоса ползуна **22**. Для предварительного хода вперед рабочего пуансона **19** и иглы **20** из установленного рядом виндкесселя дается вода низкого давления в цилиндры **14** и **25**.

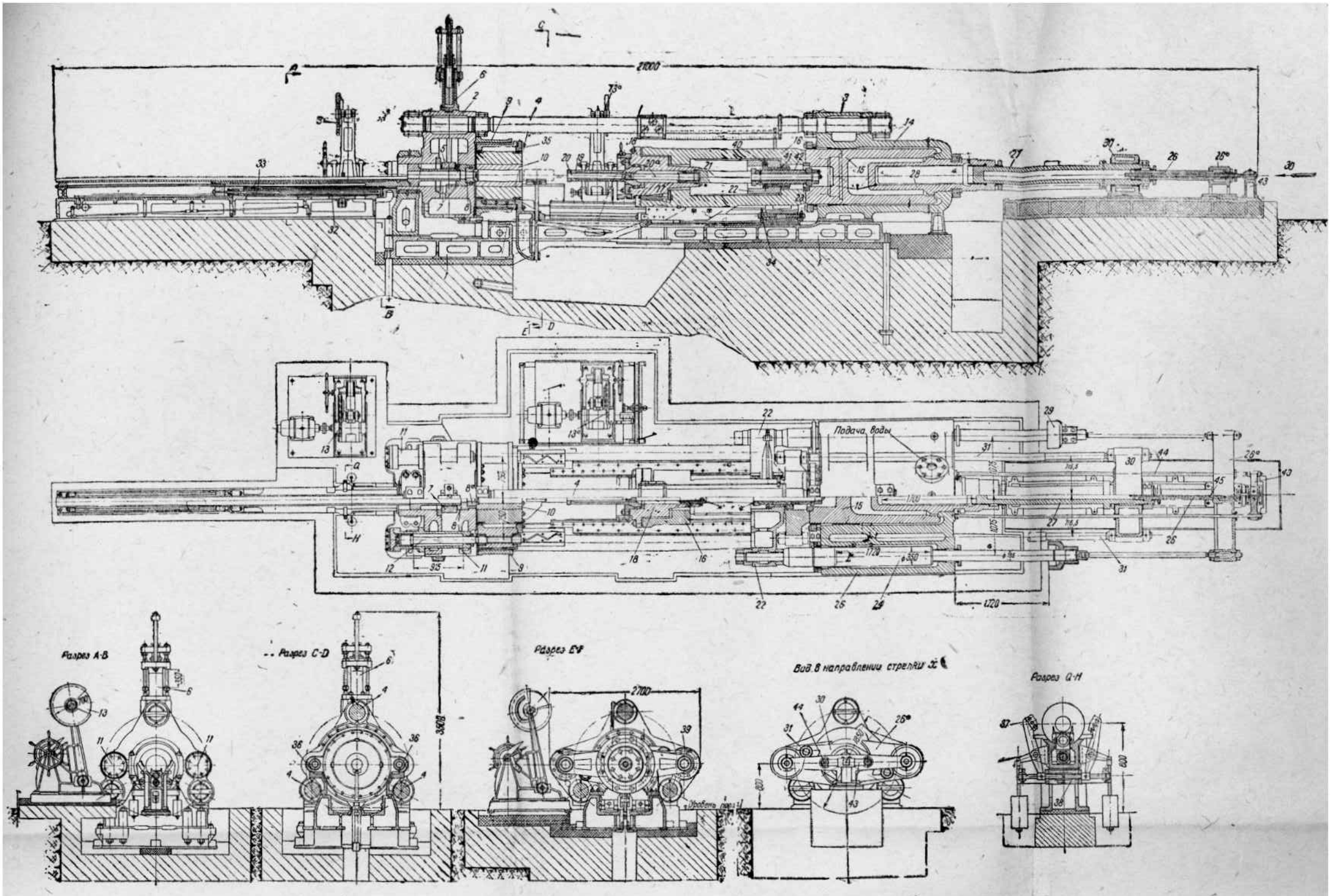
Тогда получает ход вперед плунжер 15, тягами 31 он потянет за собой поперечину 30, цилиндр (он же полая скалка) 27 впереди себя будет толкать ползун 22, который потянет плунжеры 24, связанную с ними сзади поперечину 26а и трубу 26, т. е. всю систему. Когда этим небольшим давлением слиток будет введен в контейнер, дается высокое давление в цилиндр 14, слиток обжимается в контейнере и затем цилиндром 28 с плунжером 27 пуансон 19 отводится немного назад. После этого дается давление в цилиндры 25, игла прошивает слиток и проходит в отверстие матрицы (в это время перестанавливаемый по резьбе упор 29 доходит до рамы 3). Наконец, дается полное давление в главный цилиндр 14, пуансон прессует трубу и по окончании отводится вместе с иглой в исходное положение. В то же время контейнер чуть отводится (по фигуре) вправо, замок 5 поднимается цилиндром 32 остаток слитка вместе с матрицей, матрицедержателем и головкой выводится на другую сторону станины, пилой 13 (иногда к раме 2 прикрепляются также цилиндры гидравлических ножниц; их рационально применять при прессовании прутков) остаток отрезается от матрицы, отпрессованная труба специальным механизмом (разрез по *Q*—*H*) выталкивается из матрицы, которая цилиндром 33 вновь вводится на место, замок 5 запирается, и контейнер прижимается к матрице. Одновременно контейнер смазывается графитовой смазкой, игла охлаждается и также смазывается.

Пресс готов для дальнейшей работы.

Для получения труб с одинаковой толщиной стенок независимо от износа плунжера, направляющих и других деталей пресса весьма важно точно центрировать оси иглы и пуансона с одной стороны, и контейнера, матрицы и слитка с другой, а также необходимо, чтобы движения пуансона и иглы были независимы одно от другого. Данным условиям удовлетворяют пресса типа, изображенного на фиг. 141.

На фиг. 142, имеющей нумерацию деталей, соответствующую фиг. 141, показано, каким образом в прессах этой конструкции сбившаяся вследствие износа (см. верхнюю часть фигуры) трущихся частей ось пуансона 19, иглы 20, контейнера 10 и матрицы 8а может быть снова центрирована (см. нижнюю часть фигуры). Игла 20 и иглодержатель 20а, как мы видим, здесь укреплены при помощи детали 21 и болта 23 в траверсе 22 с бронзовыми башмаками 22а, двигающейся по длинным направляющим головки главного плунжера 16 (сечение по А—В), что уменьшает их износ. Для центровки головки 18 с пуансоном 19 в передней части детали 16 предусмотрены клинья 17, с помощью которых пуансон, а следовательно, и иглу можно хорошо настроить относительно оси матрицы. Такая же настройка была показана у пресса на фиг. 129. Для недопущения перекоса главного плунжера при износе его ползунов башмаки-ползуны 34 детали 16 сделаны также с подтягивающимися клиньями. На верхнем чертеже фиг. 142 показана старая конструкция без таких подтягивающихся клиньев, что, конечно, неправильно: пока пресс новый, он будет работать исправно, а дальше он будет давать трубу с неравномерной толщиной стенок.

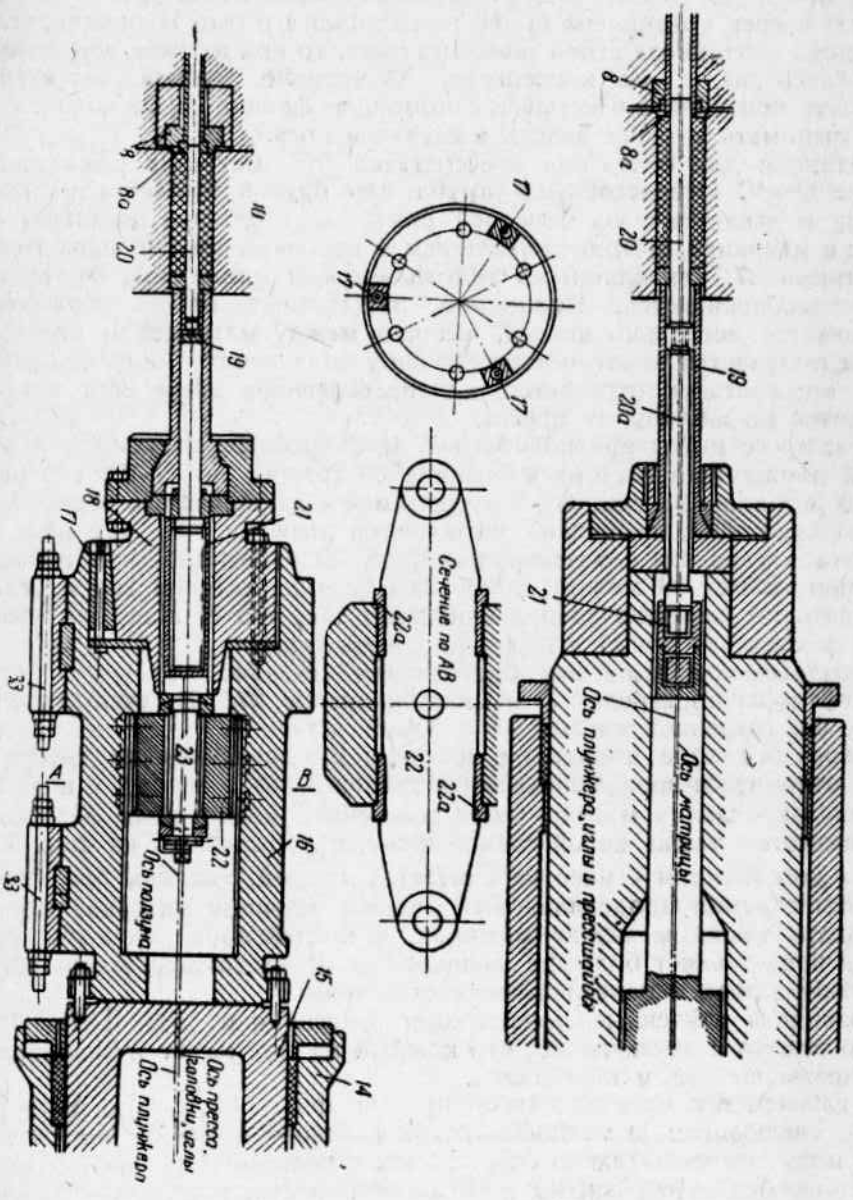
Следует отметить, как безусловное преимущество всех описанных выше трубных прессов новой конструкции, то, что игла у них имеет совершенно независимый ход от плунжера и пуансона. В начале прессования до прошивки слиток приходится немного обжимать («запрессовывать», ибо он всегда меньше диаметра контейнера), чтобы он заполнил весь контейнер; прошивка и прессование затем проходят совершенно центрально. Игла при запрессовке не должна ни выступать из пуансона, ни отставать, так как в первом случае



Фиг. 141. Комбинированный прутково-трубный 1500-т пресс «Гидравлик»:

1 — фундаментная плита; 2 — передняя станина; 3 — задняя основная станина; 4 — стяжные болты (иногда их называют колоннами); 5 — замок; 6 — цилиндр замка; 7 — головка матрицедержателя; 8 — матрицедержатель; 8а — матрица; 9 — корпус контейнера; 10 — втулка контейнера; 11 — цилиндры для передвижения контейнера; 12 — плунжеры цилиндров 11; 13 — пила для отрезки остатка выпрессованного изделия; 14 — главный цилиндр; 15 — пустотелый плунжер цилиндра 14; 16 — передняя часть главного плунжера; 17 — клиновая установка; 18 — головка плунжера; 19 — пуансон; 20 — игла; 20а — иглодержатель; 21 — штанга иглодержателя; 22 — траверса; 23 — болт штанги 21 с шаровыми шайбами; 24 — плунжеры цилиндров; 25 — хода вперед иглы; 26 — трубка — цилиндр обратного хода иглы; 26а — поперечина-траверса иглы; 27 — цилиндр — полая скалка цилиндра 28 обратного хода главного плунжера; 29 — упорные гайки — ограничители хода иглы; 30 — поперечина-траверса обратного хода главного плунжера; 31 — тяги обратного хода главного плунжера; 32 — подвижные цилиндры ввода и вывода матрицы; 33 — полые скалки цилиндров 32; 34 — ползуны с клиновой установкой; 35 — фланец для установки контейнера; 36 — опоры контейнера; 37 — захватки для отделения прессостатка от матрицы; 38 — цилиндры для управления захватками 37; 39 — привод к перестановке иглы с помощью червяка 40 и втулок 41 и 42; 43 — неподвижная задняя стойка со скрепляющими ее с главным цилиндром тягами 44 и полой скалкой 45 для подачи воды в цилиндр 26 обратного хода иглы

она начала бы прошивку дыры, а во втором — металл вошел бы в получившееся углубление. Кроме того, если начать прошивку дыры раньше такой запрессовки слитка для совершенного заполнения им всего контейнера, то при прошивке дыры давление металла на иглу снизу было бы больше, чем сверху, и в результате игла была бы согнута. В конструкции пресса фиг. 141 опережение иглой пуансона



Фиг. 142. Настройка пресса «Гидравлик» (нумерация деталей соответствует нумерации на фиг. 141)

невозможно, так как поступающая в цилиндр **27** по стрелке *X* вода высокого давления оттягивает трубку **26** с поперечиной **26а**, плунжерами **24** и ползуном **22** назад, поэтому игла при предварительном прессовании будет всегда итти заподлицо с пуансоном.

Необходимо отметить также то, что в современных хороших конструкциях прессов контейнер устанавливается всегда в особом независимом от станины корпусе, благодаря чему нагрев контейнера не передается станине и не происходит перекашивания всей системы.

Это совершенно правильно. В указанной конструкции пресса по фиг. 141, кроме того, контейнер (разрез *C—D* на фиг. 141) вставлен не прямо в своем корпусе, а укреплен четырьмя клиньями в особом цилиндре, что дает ему возможность при нагреве свободно расширяться в своем гнезде. Этот цилиндр вставлен в корпус и крепится в нем также с помощью клиньев и фланца 35, причем он опирается почти по своему горизонтальному диаметру на две опоры 36 так, что нагрев контейнера почти не смещает его оси. Напротив, если бы корпус контейнера стоял внизу на раме, то при нагреве эти ножки нагревались бы, и ось контейнера, безусловно, уходила бы вверх. Установка контейнера в корпусе с помощью фланца 35 позволяет его легко вынимать и переставлять в случае износа.

Механизм для отделения прессостатка от матрицы показан на разрезе *Q—H*. Отпрессованная труба или пруток выдается из контейнера и выводится из передней рамы с помощью цилиндра 32 вместе с матрицей, матрицедержателем и головкой матрицедержателя. Захватками 37, управляемыми гидравлическим цилиндром 38, прессостаток задерживается. Цилиндром 32 головка матрицедержателя оттягивается несколько вперед, так что между матрицей и прессостатком получается некоторое расстояние, сюда вводят пилу или ножницы, прессостаток отрезается, а отпрессованная труба или пруток убираются по жолобу от пресса.

Этот пресс имеет приспособление, позволяющее работать с иглой разной длины. Оно состоит из валика 39 (разрез по *E—F*) с червяком 40 (продольный разрез), находящимся в зацеплении с червячным венцом втулки 41, имеющей внутреннюю нарезку. В эту нарезку ввернута втулка 42, охватывающая болт 23. Очевидно, что поворачиванием валика 39 можно деталь 21 с иглодержателем 20а и иглой 20 подать по желанию вперед или назад так, что ее передний конец будет находиться точно заподлицо с пуансоном.

Обратный ход иглы, как было выше сказано, осуществляется подачей воды по стрелке *X* в цилиндр-скалку 27. В неподвижной стойке 43, связанной тягами 44 с рамой пресса 3, укреплена трубка 45. Через нее вода подается в цилиндр 27, давлением на трубу 26 будет отводиться вправо подвижная траверса 26а, а значит, и игла 20.

Для закрепления матриц ранее применяли косой клин, зажимавший имевшую также косой срез головку, изображенную на фиг. 131.

Эта конструкция сейчас не считается лучшей, так как при таком устройстве замка продавливаемый через матрицу материал может проникать также и между матрицей и контейнером; удаление его оттуда представляет большие затруднения. В настоящее время предпочитают замки с параллельными сторонами.

Сравнивая изученные конструкции прессов фиг. 133, 140 и 141, можно притти к заключению, что каждый из них имеет и значительные преимущества и недостатки.

К главнейшим преимуществам прессов фиг. 133 должно быть отнесено следующее: 1) толщина стенок главного цилиндра по окружности и по дну значительно больше, чем у прессов типа фиг. 141, что делает их более надежными в эксплоатации (так как при интенсивной работе всегда возможны удары главного плунжера в дно цилиндра); 2) ход вперед иглы при прошивке создается одним центральным цилиндром, что обеспечивает большую концентричность прессуемых труб; обратный ход иглы ведется двумя цилиндрами; 3) движение передней части главного плунжера по призматическим наклонным направляющим 15 обеспечивает бо́льшую прямолинейность хода пуансона, меньшую загрязненность направляющих, а значит, меньший износ и бо́льшую продолжительность их работы;

4) подвеска корпуса контейнера точно на линии его центра 38 гарантирует несмещаемость центра матрицы при нагреве контейнера; 5) снабжение прессов ножницами 27 для резки прутков и пилами 24 для отрезки труб; 6) более простое по конструкции устройство дистрибуторов.

В качестве недостатков этого вида прессов следует указать на то, что эти пресса: 1) имеют неподвижной контейнер, что, конечно, упрощает конструкцию, но позволяет работать только прямым методом; 2) вследствие этого замок приходится делать косой, что не может считаться, как указано выше, хорошим решением задачи; 3) занимаемая этими прессами площадь почти одинакова с другими прессами (например трубо-прутковый пресс в 1800 т[1] типа фиг. 133 имеет длину 20 800 мм, ширину 3100 мм и высоту 3700 мм и такой же пресс типа фиг. 141 в 1500 т[2] имеет длину 21 375 мм, ширину 2700 мм и высоту 3500 мм).

К недостаткам прессов, показанных на фиг. 140, следует отнести цельность отливки передней и задней рамы с цилиндрами и стяжными вместо болтов частями. Совершенно понятно, что, как бы тщательно отливка ни велась, в местах перехода от массивных сечений рам и цилиндров к стяжным балкам всегда возможны усадочные рыхлоты, трещинки и прочие пороки отливки, которые в конце концов приведут к трещинам и выводу из строя всей отливки, т. е. в сущности, всего пресса. При наличии стяжных кованых болтов это менее вероятно. Кроме того, обнаружившийся в болте какой-либо порок (а такие случаи на практике были) влечет за собой только смену этой части, а не всего пресса.

Как преимущество конструкции прессов типа фиг. 141 должно быть указано: 1) передвижной контейнер, что дает возможность работать и прямым и обратным методом; это имеет иногда большое преимущество[3] в работе; 2) замок с параллельными стенками; 3) наличие большого числа приспособлений для настройки (башмаки с клиньями, клиновая установка головки главного плунжера, шаровые шайбы для установки иглодержателя и т. п.); 4) клиновая установка контейнера, что допускает удобную смену, регулируемость нагрева и пр.; 5) наличие в дистрибуторах обратных клапанов и большая легкость в управлении ими.

К недостаткам его нужно отнести следующее: 1) ход вперед иглы дается двумя цилиндрами, что не гарантирует движения иглы точно по оси пресса без перекоса (сальники двух цилиндров нельзя затянуть совершенно одинаково) и дает большую эксцентричность и разностенность трубы; 2) цилиндры для передвижения контейнера расположены близко к его корпусу, сильно прогреваются, отчего быстро портится сальниковая набивка; 3) плоские направляющие для движения передней части головки главного плунжера не гарантируют движения его по прямой, постоянно забиваются окалиной, засариваются, плохо смазываются и как результат задираются и требуют постоянного надзора, тщательного ухода и частых ремонтов; 4) сложность дистрибуторов при наличии большого числа клапанов, приводных и автоматически действующих.

Учитывая все сказанное выше, можно сделать такой основной вывод, что передняя часть лучше запроектирована у пресса типа фиг. 141, а задняя — у пресса типа фиг. 133. Поэтому при проектировании пресса нашей советской конструкции было интересно соз-

[1] 1800 т давление на главный плунжер + 150 т давление на плунжер иглы.
[2] Давление на главный плунжер.
[3] См., например, брошюру П. А. Сарычева. Истечение алюминиевых сплавов при прессовании.

дать такой комбинированный пресс, который совмещал бы преимущества той и другой системы.

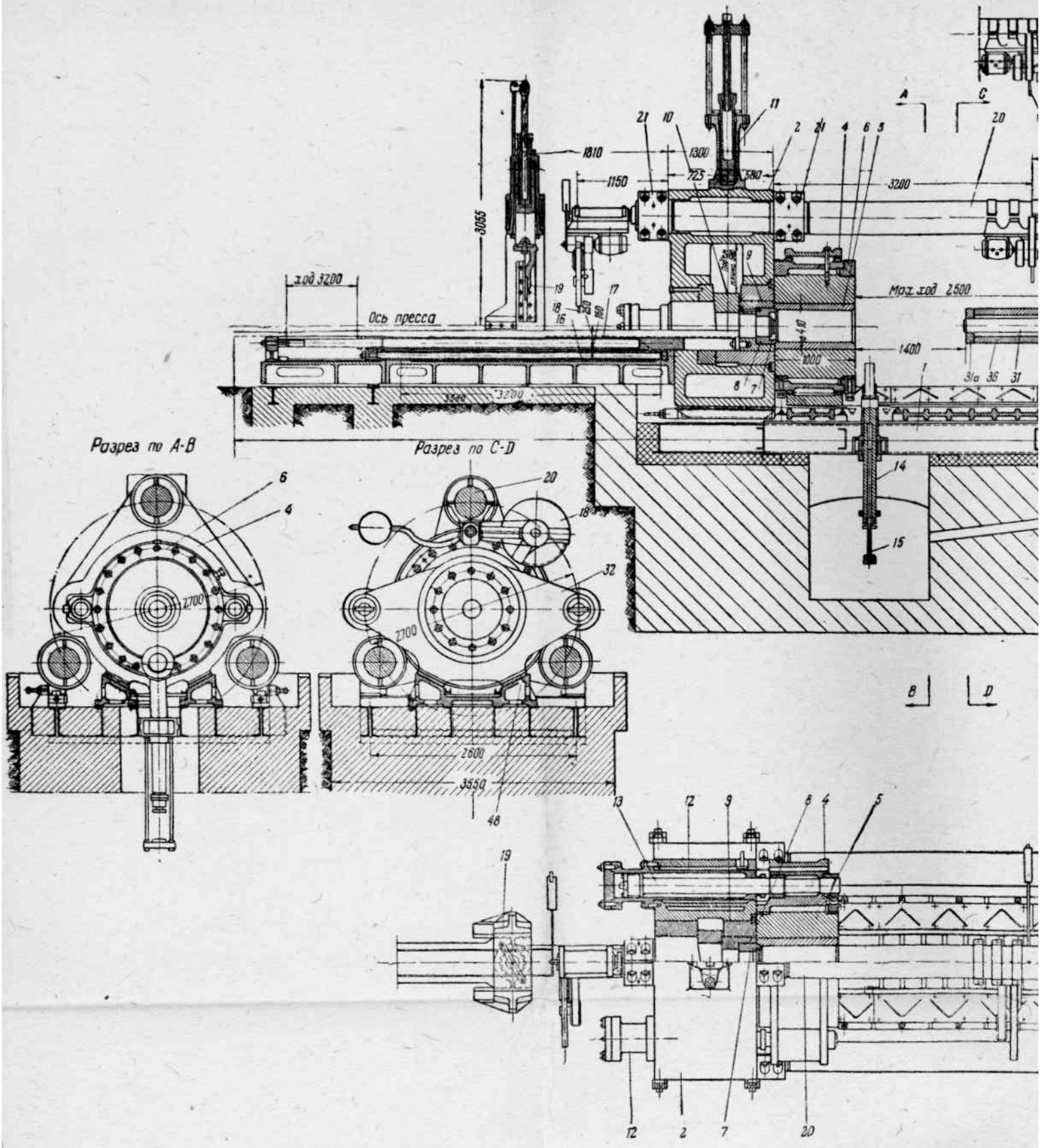
Первая попытка создания такого пресса была сделана в 1934 г. студентом-дипломником тов. Чуриловым, проектировавшим под руководством автора прутково-трубный цех. Проект вышел довольно удачным и впоследствии, в 1935 г., эта же идея была предложена при обсуждении вопроса о создании нашего советского пресса[1].

При разработке проекта 3000-т пресса конструкторами Уральского завода тяжелого машиностроения (УЗТМ) в 1936 г. все указанные моменты были учтены, внесено много изменений и усовершенствований, так что в результате получился совершенно оригинальный проект.

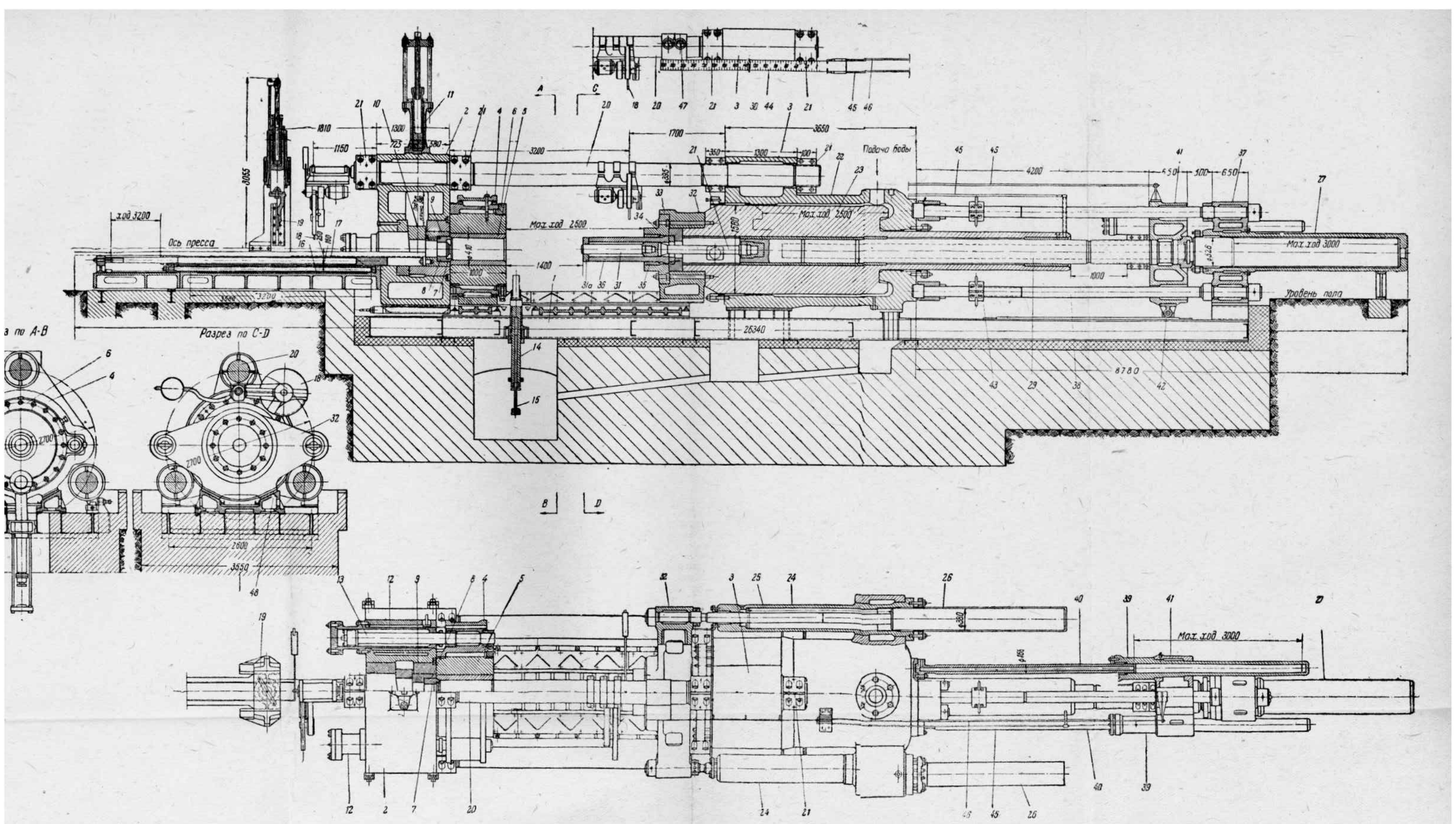
Чертеж этого 3000-т пресса при рабочем давлении воды в 200 кг/см² представлен на фиг. 143. В подписи под фигурой приведены подробные наименования каждой его детали с указанием их назначения. После сделанных выше подробных описаний разных прессов читатель свободно разберется в чертеже и ходе работы на этом прессе.

В дополнение к сказанному считаем необходимым добавить, что в настоящее время заграничные фирмы строят свои пресса только прямого действия по типу пресса, приведенного на фиг. 133, т. е. с одним для хода вперед иглы цилиндром по оси пресса и для обратного хода с двумя цилиндрами, расположенными по обоим бокам главного. Повидимому, указанные выше недостатки в отношении перекоса оси иглы и получения разностенности в трубе из-за невозможности практически одинаковой затяжки двух сальников оказались настолько значительны, что пришлось отказаться от конструкции типа фиг. 141, у которой ход иглы вперед осуществляется двумя цилиндрами. Этот переход объясняется желанием упростить конструкцию пресса, и без того весьма сложного агрегата, и отсутствием особых преимуществ в работе по обращенному методу. Все построенные за последние годы установки для прессования меди, латуни, дуралюмина и электрона осуществлены с прессами только прямого действия. Заводы США строят пресса также только с прямым методом работы. Однако некоторые наши заводы для обеспечения более равномерной по сечению и длине прутка деформации и структуры предпочитают таковые прессовать по обращенному методу. Так как и тот и другой метод, как о том много говорилось в главе I, имеет и свои положительные, и отрицательные качества, то в конечном результате можно притти к заключению, что в этом споре о преимуществах того или другого метода значение имеет более особенности завода, наличие необходимой мощности прессов, надлежащей смазки и пр. Одно совершенно ясно: 1) пресса с прямым методом работы значительно проще и дешевле; 2) крупные пресса мощностью свыше 2500—3000 т применяются почти исключительно для прессования крупных сечений профилей, большого диаметра круглой кузнечной заготовки из дуралюмина или электрона и крупной, плоской заготовки для прокатки листов и полос из электрона, которая идет далее в горячем состоянии в дальнейшую обработку, почему ввиду их больших сечений обращенный метод прессования неприменим; 3) при наличии соответствующей смазки, действенной при данных условиях прессования, а тем более при наличии высокого применяемого сейчас подогрева контейнера (до 400—450°) картина истечения при прессовании по прямому методу приближается к картине истечения при обращенном методе работы; 4) таким образом преиму-

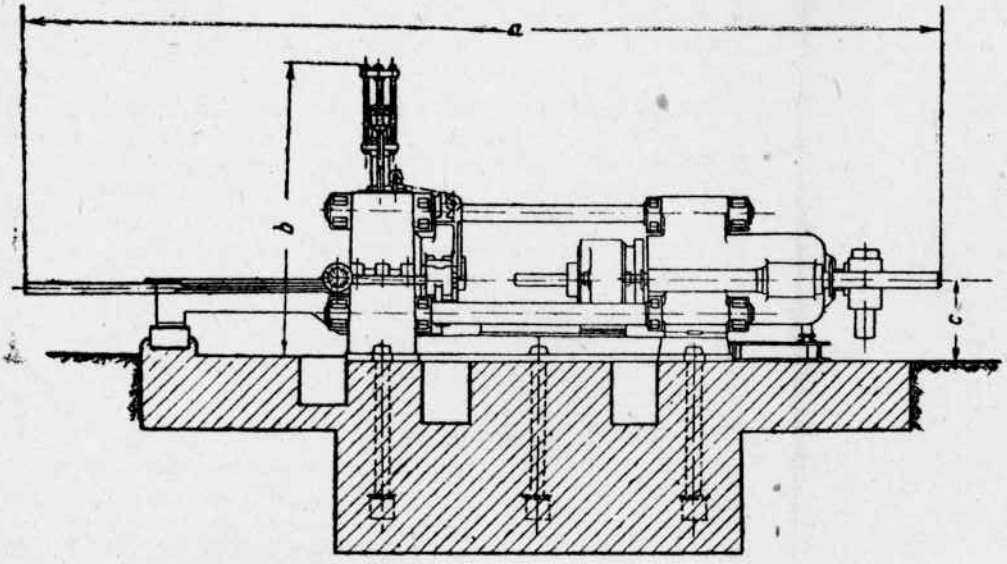
[1] Проект тов. Чурилова читатели могут видеть в кабинете дипломного проектирования Института цветных металлов (№ 266).



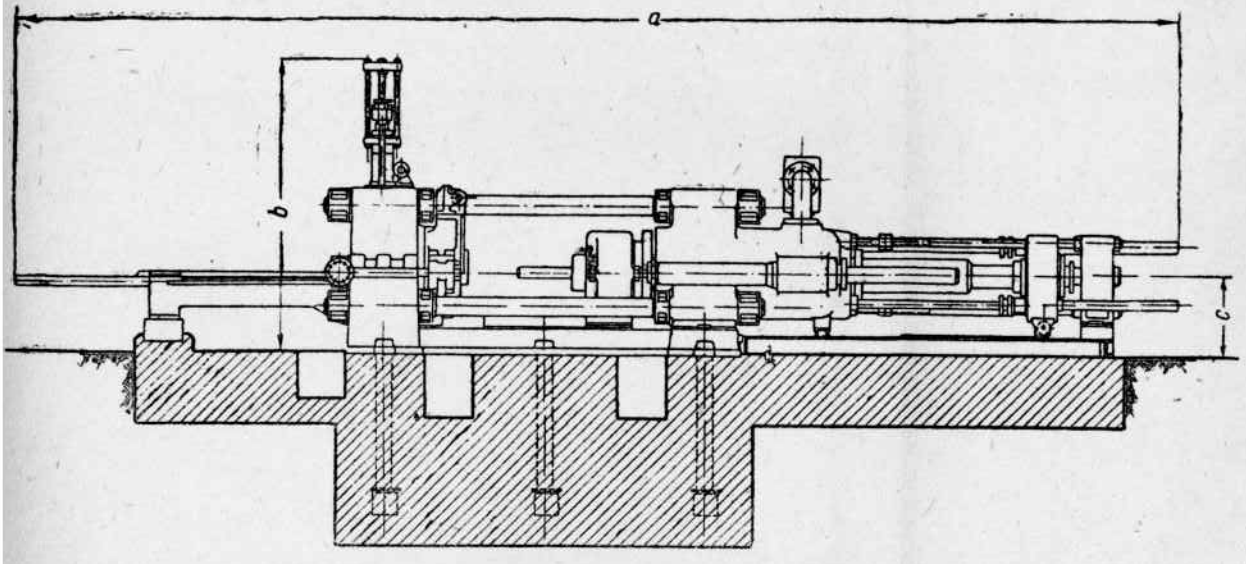
Фиг. 143. 3000-т трубно-прутковый комбинированный пресс Уральского завода тяжелого машиностроения (УЗТМ) (рабочее давление воды 200—220 кг/см²):
1 — стальная сварная фундаментная рама; 2 — передняя станина; 3 — задняя станина; 4 — корпус контейнера; 5 — контейнер; 6 — фланец для укрепления контейнера в корпусе; 7 — матрица; 8 — матрицедержатель; 9 — головка матрицедержателя; 10 — замок; 11 — цилиндр замка; 12 — цилиндры для передвижения контейнера; 13 — штоки цилиндра 12; 14 — подвижной цилиндр подъемного столика; 15 — полая скалка, питающая цилиндр 14; 16 — цилиндр для вывода головки матрицедержателя; 17 — подвижной цилиндр для ввода головки; 18 — пила при прессовании по прямому методу; 18а — пила при обращенном методе работы; 19 — ножницы; 20 — стяжные болты с разъемными гайками 21; 22 — главный цилиндр; 23 — главный плунжер; 24 — цилиндры обратного хода главного плун-



143. 3000-т трубно-прутковый комбинированный Уральского завода тяжелого машиностроения ЭМ) (рабочее давление воды 200—220 кг/см²): альная сварная фундаментная рама; 2 — передганина; 3 — задняя станина; 4 — корпус контей- 5 — контейнер; 6 — фланец для укрепления кона в корпусе; 7 — матрица; 8 — матрицедержа- 9 — головка матрицедержателя; 10 — замок; илиндр замка; 12 — цилиндры для передвижения контейнера; 13 — штоки цилиндра 12; 14 — подвижной цилиндр подъемного столика; 15 — полая скалка, питающая цилиндр 14; 16 — цилиндр для вывода головки матрицедержателя; 17 — подвижной цилиндр для ввода головки; 18 — пила при прессовании по прямому методу; 18а — пила при обращенном методе работы; 19 — ножницы; 20 — стяжные болты с разъемными гайками 21; 22 — главный цилиндр; 23 — главный плунжер; 24 — цилиндры обратного хода главного плунжера; 25 — скалки цилиндра 24; 26 — предохранительные кожухи; 27 — цилиндр прямого хода иглы; 28 — плунжер цилиндра 27; 29 — штанга иглодержателя; 30 — иглодержатель; 31 — игла; 31а — прессшайба; 32 — головка главного плунжера; 33 — фланец для укрепления пуансона; 34 — конусное кольцо; 35 — цилиндрическое кольцо для той же цели; 36 — пуансон; 37 — задняя стойка, поддерживающая цилиндры иглы 27; 38 — тяги, скрепляющие стойку 27 с корпусом главного цилиндра; 39 — подвижные цилиндры обратного хода иглы; 40 — полые скалки, питающие цилиндры 39; 41 — подвижная на ролике 42 траверса; 43 — предельные гайки, лимитирующие ход иглы; 44 — указатель хода пуансона и иглы; 45 — привод к указателю хода пуансона; 46 — привод к указателю хода иглы; 47 — манометры; 48 — призматические направляющие для движения головки главного плунжера; 49 — выводной жолоб



Фиг. 144. Типовой чертеж прутковых прессов фирмы Шлеман



Фиг. 145. Типовой чертеж прутково-трубных прессов фирмы Шлеман

щества прессов комбинированных для возможности обращенного метода прессования значительно уменьшаются. Отсюда понятно, почему практика пришла к выводу, что возможно обходиться прессами более простыми. Постройка прессов комбинированных машиностроительными заводами сейчас оставлена, а конструкция прессов разных фирм унифицирована.

Все рассмотренные выше конструкции прессов имеют два крупных недостатка: 1) задние донышки главных цилиндров у них имеют плоскую форму, 2) пресса не имеют никаких приспособлений для предотвращения удара при обратном ходе главного плунжера в дно цилиндра.

Для прочности дна его необходимо проектировать в виде полусферы определенного радиуса, а не плоским, даже если не принимать во внимание возможность ударов плунжера в дно цилиндра. Удары эти всегда возможны, в результате чего появляются трещины внутри цилиндра в месте перехода стенки в дно, так как это место при работе (см. фиг. 141) всегда имеет стремление выгнуться и дать трещину тем более опасную, что она находится внутри цилиндра, а это место редко подвергается осмотру.

Такого рода приспособление уже давно применяется у кузнечных прессов, отсутствие его у изучаемого нами типа прессов совершенно недопустимо.

Далее необходимо иметь в виду желательность увеличения толщины стенки и дна у главного цилиндра, для того чтобы расчетное напряжение в этих местах у литых стальных цилиндров не превосходило 800—850 кг/см². Сказанное выше относится ко всем цилиндрам, но особое значение это имеет по отношению к главным цилиндрам.

Наконец, необходимо серьезно поставить вопрос о замене главных литых цилиндров вставными и коваными, которые сейчас нашли преимущественное применение у кузнечных прессов.

Таблица 15

Основные размеры горизонтальных прутковых прессов (фиг. 144)

Сила давления пресса т	Давление воды кг/см²	Ход главного плунжера, мм	Основные размеры, мм				Вес т
			a	b	c	ширина	
500	200	600	4800	2400	800	2000	40
750	240	1150	11200	3000	800	2400	86
1800	240	1650	14550	3700	800	3100	118
2400	240	1950	16900	4100	800	3700	150
3600	240	2100	23500	4800	850	3700	267
5000	240	2550	25000	4800	900	3700	425
10000	300	3700	36500	6000	1000	3800	1035

На фиг. 144, дан типовой чертеж прутковых прессов и в табл. 15 их основные размеры, на фиг. 145 — типовой чертеж прутково-трубных прессов и в табл. 16 их основные размеры.

В заключение изучения конструкции горизонтальных прессов в табл. 17 дана краткая характеристика нескольких прессов разных типов, работающих при давлении воды в 200—220 *кг/см²*.

Таблица 16

Основные размеры горизонтальных прутково-трубных прессов (фиг. 145)

Сила давления пресса т	Давление воды кг/см²	Ход главного плунжера, мм	Основные размеры, мм				Вес т
			a	*b*	*c*	ширина	
1200/1320	240	1650	18700	3400	800	2700	91
1800/1950	240	1650	20800	3700	800	3100	138
2400/2700	240	1950	23500	4100	800	3700	207
3000/3500	240	2100	27000	4800	850	3700	290

Примечание. В числителе показано давление на главный плунжер и в знаменателе—суммарное давление на главный плунжер и плунжер иглы.

Таблица 17

Характеристика горизонтальных гидравлических прессов разных типов

№ по пор.	Наименование деталей / Пресса и их мощность	Тип пресса				
		УЗТМ фиг. 143	фиг. 141		фиг. 133	
		3000-т	1500-т	2500-т	1600-т	1500-т
	Главный цилиндр:					
1	наружный диаметр, мм	2000	1280	2050	1700	1370
	внутренний » »	1600	1030	1400	1260	1080
	длина »	3650	2400	3600	3000	2500
2	Главный плунжер:					
	наружный диаметр, мм	1560	980	1370	1210	1050
	внутренний » »	780	660	400	420	—
	хвост наружный »	650	—	558	640	390
	» внутренний »	460	—	400	400	300
	длина »	7500	—	2900	2900	2400
	ход »	2500	1700	2100	2100	1600
	максимальная скорость, мм/сек	—	—	—	—	290
3	Прошивное устройство:					
	Цилиндры: число их	1	2	1	1	1
	наружный диаметр, мм	680	580	590	640	390
	внутренний » »	600	390	470	480	300
	длина »	3600	2350	3165	3150	2600
	Плунжер:					
	наружный диаметр, мм	580	350/185	460	460	290
	внутренний » »	250	—	335	335	—
	длина »	3600	6300	3230	3230	2700
	ход »	3000	1720	2600	2400	2100
	максимальная скорость, мм/сек	—	—	—	—	170
4	Обратный ход главного плунжера					
	Цилиндры: число их	2	1	2	2	2
	наружный диаметр, мм	500	510	435	440	360
	внутренний » »	400	330	360	300	280
	длина »	3400	2280	2950	2100	2450

Продолжение табл. 17

№ по пор.	Наименование деталей / Пресса и их мощность	Тип пресса: УЗТМ фиг. 143	фиг. 141		фиг. 133	
		3000-т	1500-т	2500-т	1600-т	1500-т
	Плунжер:					
	наружный диаметр, мм	380/170	310	320/160	290/150	272/130
	внутренний » »	—	170	160	160	132
	длина »	3000	3210	2600	2600	—
	» штока »	4300	—	3700	3700	—
	ход »	2250	1700	2100	2100	1600
	максимальная скорость, мм/сек	—	—	—	—	460
5	Обратный ход иглы:					
	Цилиндры: число их	2	1	2	2	2
	наружный диаметр, мм	220	310	217	240	148
	внутренний » »	170	170	150	140	115
	длина »	3400	3210	3000	3000	2460
	Плунжер:					
	наружный диаметр, мм	160	170	140	130	110
	внутренний » »	80	90	80	80	70
	длина »	4200	1760	3260	3260	2875
	ход »	3000	1320	2620	2620	—
	максимальная скорость, мм/сек	—	—	—	—	300
6	Передвижение контейнера					
	Цилиндры: число их	2	2	—	—	—
	наружный диаметр, мм	380	300	—	—	—
	внутренний » »	300	210	—	—	—
	длина »	1700	1400	—	—	—
	Плунжер:					
	наружный диаметр, мм	300/170	210/125	—	—	—
	внутренний » »	—	—	—	—	—
	длина »	2600	2200	—	—	—
	ход »	1300	915	—	—	—
	максимальная скорость, мм/сек	—	—	—	—	—
7	Передвижение замка					
	Цилиндры: число их	1	1	1	1	1
	наружный диаметр, мм	220	220	320	150	220
	внутренний » »	160	150	210	85	180
	длина »	900	700	960	860	690
	Плунжер:					
	наружный диаметр, мм	150	120	200	85	165
	внутренний » »	80	50	—	40	90
	длина »	950	360	960	900	405
	ход »	580	400	550	550	—
	максимальная скорость, мм/сек	—	—	—	—	150
8	Передвижение головки матрицедержателя:					
	Цилиндры: число их	2	2	2	2	2
	наружный диаметр, мм	140	130	145	180	110
	внутренний » »	80	65	90	90	65
	длина »	3450	2490	3200	3200	2250
	Плунжер:					
	наружный диаметр, мм	80	65	85	85	59
	внутренний » »	60	30	50	50	30
	длина »	3700	2930	3900	3900	3900
	ход »	3200	2490	3200	3200	3200
	максимальная скорость, мм/сек	—	—	—	—	750

2. ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ПРЕССА

Описанные выше горизонтальные пресса обычно применяют для производства трубной заготовки с внутренним диаметром свыше 45—50 мм при толщине стенки не ниже 3—4 мм. Получение трубной заготовки меньшего диаметра и со стенками меньшей толщины на этих прессах менее рентабельно. Так как горизонтальные пресса с медленным ходом изготовляют с длинными контейнерами[1] и большего диаметра, то вырабатывать на них трубы тонкие и небольшого диаметра из небольших слитков (а большие при такой работе застывали бы и нельзя было бы их использовать надлежащим образом) было бы непроизводительно и неэкономно. Поэтому для производства труб диаметром обычно меньше 45—50 и до 65 мм применяют пресса вертикальные с силой давления в 300 и 600 т, для труб диаметром 75—80 мм — пресса 750 т и до 90—100 мм — пресса 1000 т[2]. Наиболее часто применяют пресса в 300 и 600 т. На них можно получить более или менее свободно в виде массовой продукции трубы латунные с толщиной стенки до 1 мм и дуралюминовые до 2 мм и в рекордном виде, не массового характера, даже до 0,75 и 1,5 мм — соответственно сплаву.

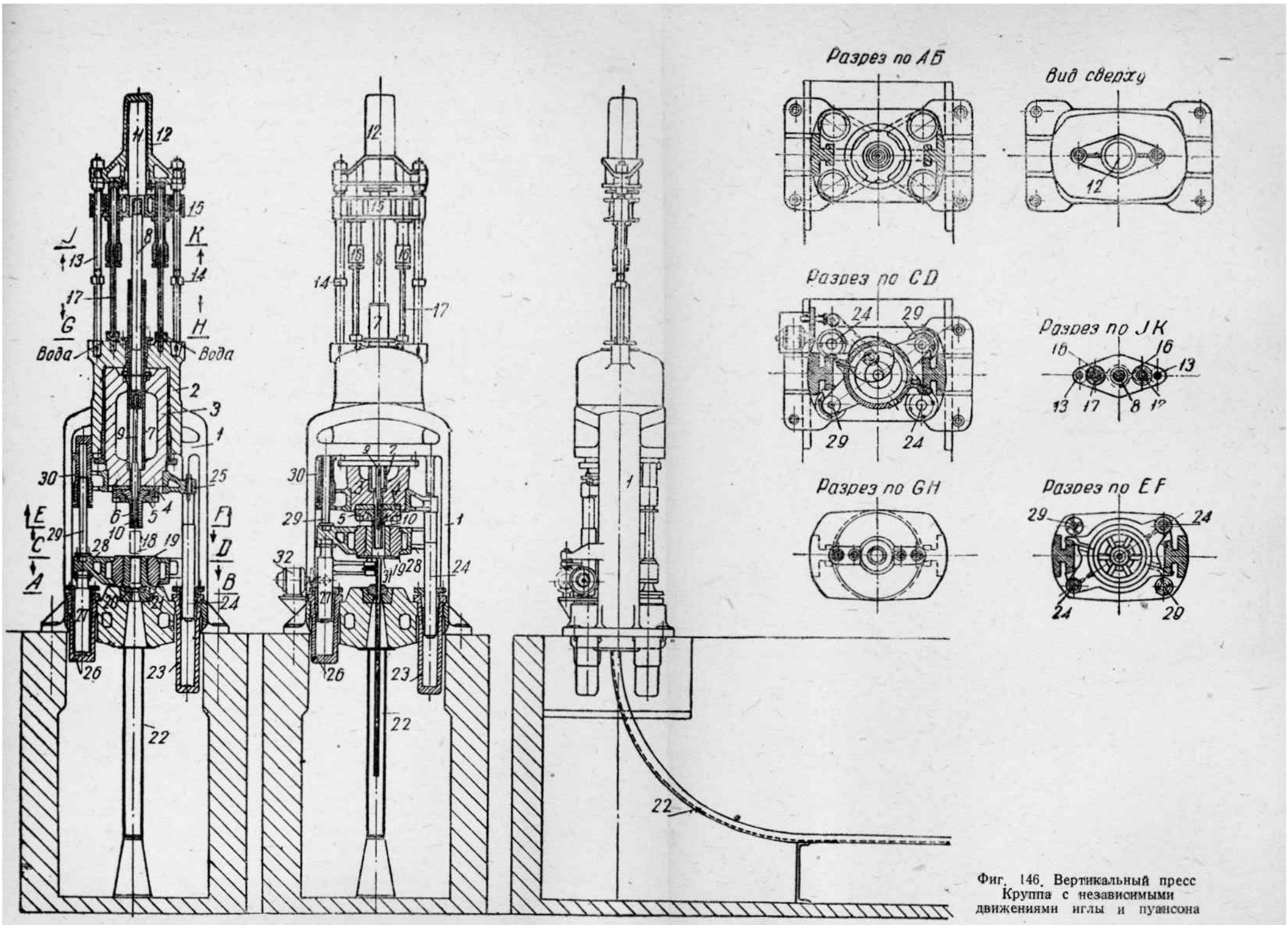
Вертикальные пресса по самой своей конструкции больше обеспечивают получение равностенных труб, меньшую и равномерную изнашиваемость контейнера, игл и пуансона, менее подвержены расстройству, а в случае каких-либо неполадок легче настраиваются. Так как эти пресса имеют короткий ход, то они более быстроходны, чем горизонтальные, а это дает возможность быстро вести на них процесс прессования. Введенная в контейнер небольшой длины заготовка не успевает остыть, и в результате значительно снижается количество отходов, так как можно работать с минимальным остатком в контейнере. Кроме того, имеется возможность прессовать трубы небольшого диаметра. Нормально на 300-т прессе прессуют трубы латунные до 20 × 18 мм (толщина стенки до 1 мм) и минимально (но не рентабельно ввиду большого расхода инструмента) даже до 12 × ×10 мм диаметром при указанной выше толщине стенки до 1 и меньше до 0,75 мм. Понятно, что получение такого сравнительно небольшого диаметра и тонкостенной трубы, освобождая производство от дорогой и медленной операции протяжек в холодном состоянии на цепных станах с промежуточными отжигами, правлением и пр., значительно снижает стоимость труб и увеличивает производительность цеха.

Поэтому сейчас всякий трубный цех наряду с горизонтальными мощными прессами для производства прутков, профилей и труб больших диаметров имеет несколько вертикальных прессов для производства из нарезанной заготовки труб мелких диаметров. Обычно для этой цели применяют вертикальные пресса в 600 т для производства труб диаметром от 50 до 35—30 мм и 300 т — для диаметра труб менее 35—30 мм.

Эти пресса бывают двух типов. Одни имеют независимые ходы иглы и пуансона; при этом они могут иметь: 1) подвижный контейнер и 2) неподвижный контейнер; вторые имеют иглу, закрепленную в пуансоне, т. е. не имеют этих независимых ходов, а также передвижения контейнера. Вследствие этого первый тип прессов может работать с заготовкой, значительно разнящейся по диаметру от диа-

[1] В современных горизонтальных прессах отношение длины слитка к минимальному диаметру равно при прессовании прутков от 4 до 6 и при производстве труб 3—4.

[2] Evans, Metallurgia, 1934, v. 7, № 40, p. 111—113.



Фиг. 146. Вертикальный пресс Круппа с независимыми движениями иглы и пуансона

метра контейнера, так как при наличии независимых ходов иглы и пуансона заготовку можно прежде прошивки осадить в контейнере, подобно тому как это делается и в горизонтальных прессах. Это, конечно, представляет определенное преимущество данных систем прессов.

Второй тип требует применения заготовки полной и без отверстия, но в последнем случае более точного диаметра и так рассчитанного, чтобы при нагреве до соответствующей температуры ее диаметр был лишь чуть менее диаметра контейнера и заготовка плотно входила в контейнер, иначе игла будет гнуться, и трубы будут получаться разностенные. Кроме того, во втором случае заготовка должна иметь на торце точно по оси центровочное отверстие, равное диаметру иглы, что, конечно, осложняет производство, требует лишнего оборудования, а также лишних приспособлений для удаления после прессования остатка заготовки из контейнера. Но зато эти пресса более быстроходны, имеют более простую конструкцию и потому значительно дешевле прессов первого типа. При коротких слитках, применяемых при работе на вертикальных прессах, как показывает практика, пресса, имеющие подвижную, независимую от пуансона иглу, не имеют особых преимуществ, так как изнашиваемость иглы от этого заметно не уменьшается. При принятии указанных выше мер на прессах второго типа получаются хорошие концентрические трубы. Поэтому пресса второго типа получили и на наших заводах и за границей очень большое распространение.

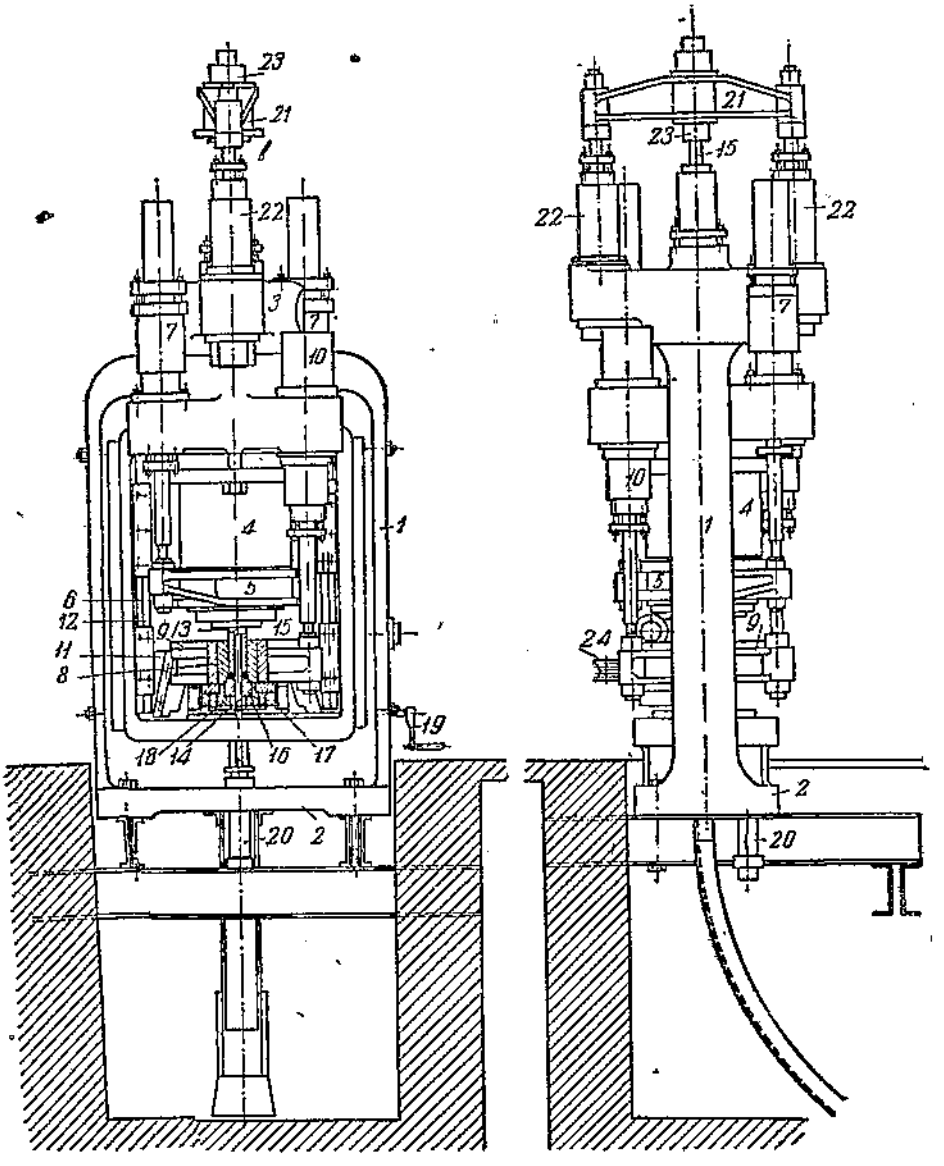
Вертикальные пресса с независимым от пуансона движением иглы

На фиг. 146 изображен принадлежащий к первому типу вертикальный пресс. Пресс состоит из следующих частей. Массивная стальная станина 1 оканчивается наверху поперечиной, вмещающей главный гидравлический цилиндр 2, составляющий с поперечиной одно целое. В цилиндре 2 движется главный плунжер 3, на конце которого на стальной подкладке 4 с помощью фланца 5 укреплен рабочий пуансон 6. Внутри поршня 3 вставлена трубка 7, в которой ходит шток 8. На нижнем конце штока 8 укреплен иглодержатель 9, а в нем игла 10, и на верхнем конце — плунжер 11 гидравлического цилиндра 12. Этот последний посредством болтов 13 укреплен на верхней части цилиндра 2. На болтах 13 надеты установочные гайки 14, ограничивающие ход вниз поперечины 15 с двумя цилиндрами обратного хода иглы 16, движущимися по неподвижным пустотелым плунжерам 17, укрепленным также на верхней части цилиндра 2.

При работе нарезанная на куски определенной длины и нагретая надлежащим образом заготовка 18 вводится в контейнер 19, в цилиндры 11 и 2 подается вода из аккумулятора низкого давления (виндкесселя), вследствие чего цилиндры заполняются водой, и заготовка осаживается в контейнере. Тогда в цилиндры 11 и 2 дается высокое давление, заготовка запрессовывается в контейнере. С помощью цилиндров 23, плунжеры которых 24 связаны с головкой главного плунжера 3, пуансон 6 отводится немного назад, игле, наоборот, цилиндром 11 дается ход дальше вперед, она прошивает заготовку и выходит немного за отверстие матрицы. При прошивке материал слитка имеет возможность двигаться по игле вверх. В цилиндр 2 дается высокое давление, плунжер 3 идет с пуансоном 6 вниз, пуансон скользит по игле 10 и выпрессовывает материал слитка в кольцевое пространство между очком матрицы и иглой. Получается труба требуемого сечения.

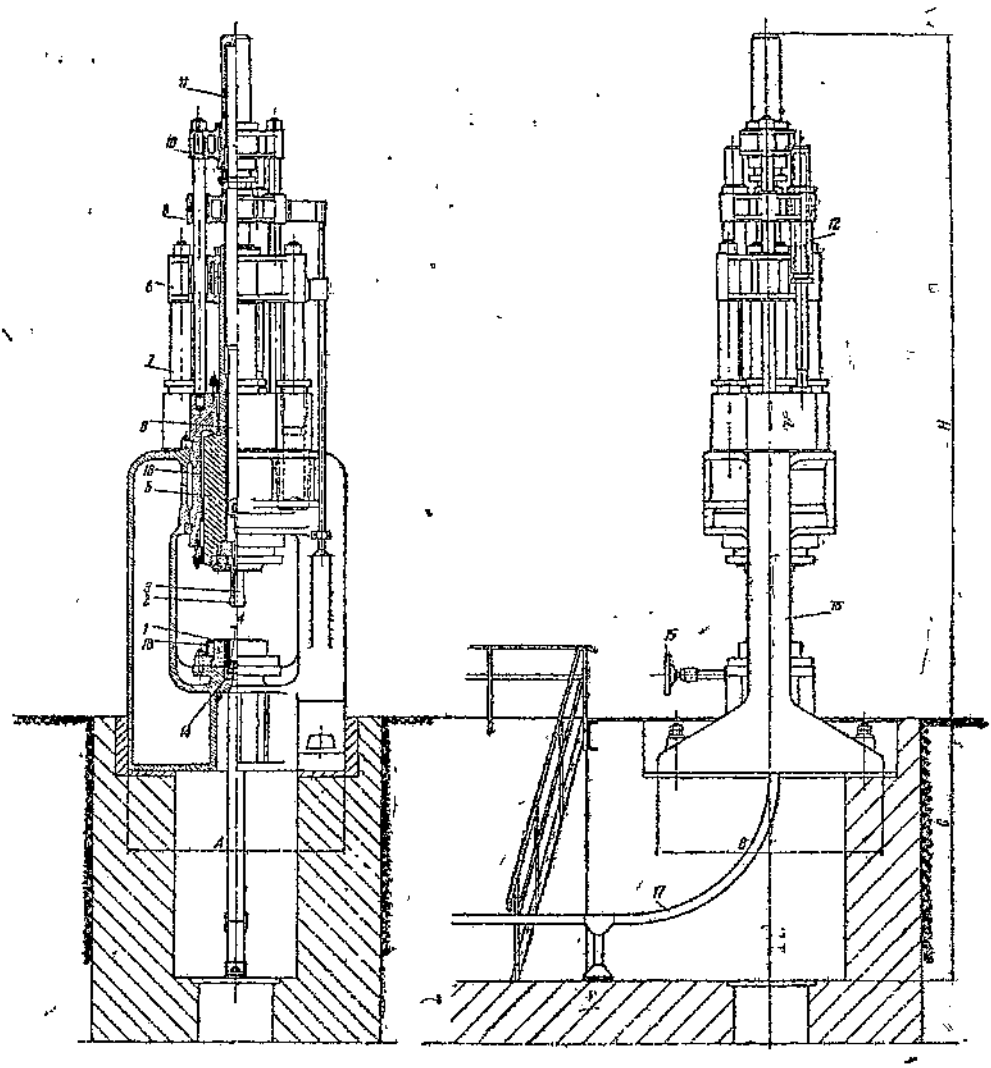
Когда прессование закончено, дается давление в цилиндры 16, 23 и 26, плунжеры 17, 24 и 27 поднимают вверх пуансон 6, иглу 10

и поперечину 28 вместе с контейнером и находящимся в нем остатком заготовки. Труба пилой 31, приводимой в движение мотором 32, отрезается от остатка и удаляется вниз, поперечина 28 поднимается еще немного вверх, отчего остаток выпадает из контейнера, в цилиндры 30 дается давление, штоки 29 с поперечиной 28 и контейнером 19 отходят вниз, и пресс вновь готов для следующей операции.



Фиг. 147. Вертикальный пресс с цилиндрами на верхней поперечине станины: 1 — станина пресса; 2 — основная плита рамы; 3 — главный цилиндр; 4 — главный плунжер; 5 — траверса-ползун главного плунжера; 6 — направляющие ползуна главного плунжера; 7 — цилиндры обратного хода главного плунжера; 8 — передвижной контейнер; 9 — корпус контейнера; 10 — цилиндры для подъема контейнера; 11 — башмаки-ползуны контейнера; 12 — направляющие контейнера; 13 — пуансон; 14 — игла; 15 — иглодержатель; 16 — матрицедержатель; 17 — матрица; 18 — косой замок для матрицедержателя; 19 — механизм для передвижения детали 18; 20 — выбрасыватель (экстрактор) остатка трубы из матрицы; 21 — траверса иглодержателя; 22 — цилиндр для прямого и обратного ходов иглы; 23 — приспособление для возможности прессования с подвижной и неподвижной относительно пуансона иглами; 24 — дисковая пила

На фиг. 147 изображен вертикальный пресс несколько иной конструкции, у которого все бывшие внизу цилиндры обратного хода главного плунжера и подъема контейнера перенесены на верхнюю поперечину.



Фиг. 148. Вертикальный пресс Эймуко с независимым движением иглы пуансона: 1 — контейнер; 2 — рабочий пуансон; 3 — игла для прошивки дыры; 4 — матрица; 5 — главный поршень; 6 — штанга иглы 3; 7 — цилиндры обратного хода; 8 — подвижная траверса пресса обратного хода главного плунжера; 9 — подвижная траверса обратного хода иглы; 10 — неподвижная рама; 11 — цилиндр для иглы 3; 12 — цилиндры обратного хода для иглы 3; 13 — станина пресса; 14 — замок-шибер; 15 — привод к замку 14; 16 — главный цилиндр; 17 — желоб; 18 — нагреватель для контейнера 1

На фиг. 148 изображен подобной же конструкции пресс первого типа с независимыми движениями иглы и пуансона. Прессов этого типа у нас нет в производстве, но их конструкция представляет безусловный интерес, так как пресса эти со вставными коваными цилиндрами, что гарантирует их непроницаемость и долголетнюю работу. Цилиндры, отлитые с корпусом пресса в одно целое, часто дают течь и уже на нескольких заводах потребовали замены всего корпуса прессов.

Пресса, изображенные на фиг. 146, 147 и 148, довольно сложны, вследствие наличия в них независимого от главного пуансона хода иглы для прошивки дыр в заготовке, и требуют высокого помещения (например, 600-т пресс имеет высоту 7,3 м от пола). Главные размеры этих прессов показаны в табл. 18.

Таблица 18

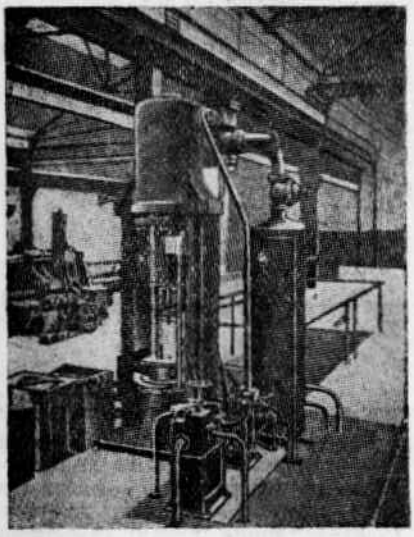
Главные размеры и характеристика вертикальных прессов типа фиг. 148.

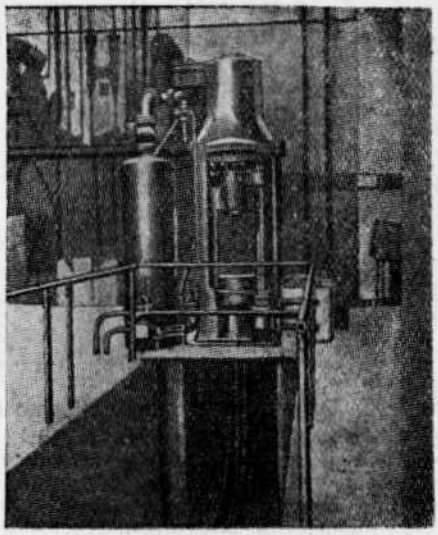
Прессование		Прошивка		Рабочее давление воды кг/см²	Главные размеры				
давление т	ход мм	давление т	ход мм		*A*	*B*	*C*	*H*	H_1[1]
300	630	35	810	200—300	1900	1900	2500	6400	4400
450	680	55	900	200—300	2100	2150	2650	6850	4700
600	730	70	970	200—300	2300	2400	2800	7300	5000
750	825	80	1150	200	2500	2700	2800	8000	5500
1000	900	100	1150	200	2750	3000	3000	9000	6500

[1] Размер H_1 указан на фиг. 156.

Вертикальные пресса с иглой, укрепленной в пуансоне

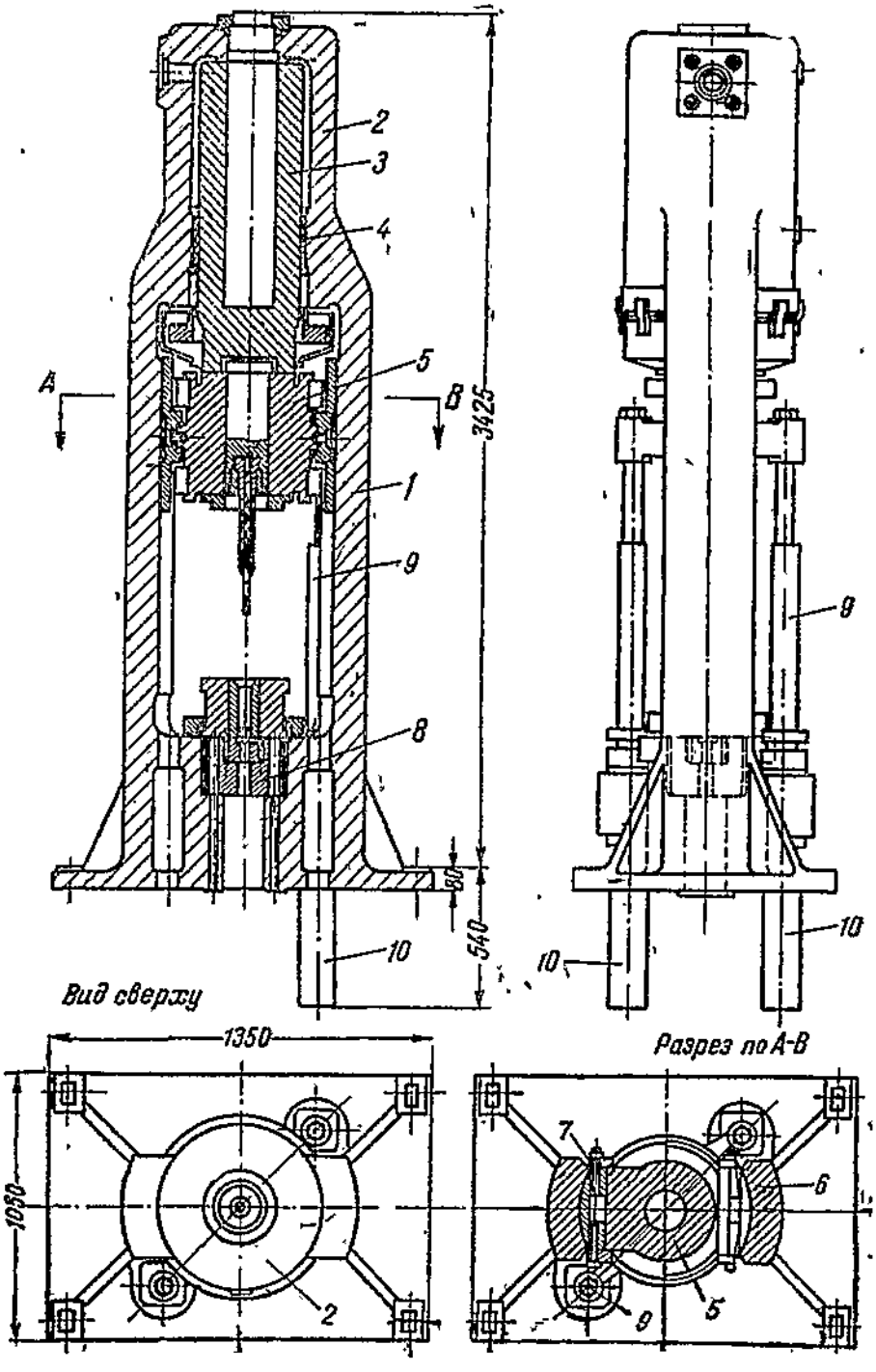
На фиг. 149 и 150 изображен 300-т гидравлический вертикальный более простой конструкции пресс без независимого хода иглы. Пресс работает при давлении в 200 кг/см² и состоит из прочных стальных станин **1**, на верху которых расположен главный гидравлический цилиндр **2**. Массивный плунжер **3** движется по длинным





Фиг. 149. Вертикальный трубный пресс фирмы «Гидравлик» с иглой, укрепленной в пуансоне

бронзовым втулкам **4** в сальнике с мягкой металлической набивкой. Внизу его ползун **5** движется по особым цилиндрическим направляющим **6**. Подтягивающиеся клинья **7** дают возможность выверять правильность движения ползуна. Главный цилиндр, направляющие для ползуна и гнездо для головки матрицедержателя **8** растачиваются с одной установки, что при наличии хорошего направления плунжера **3** и ползуна **5**, а также возможности точной настройки пресса



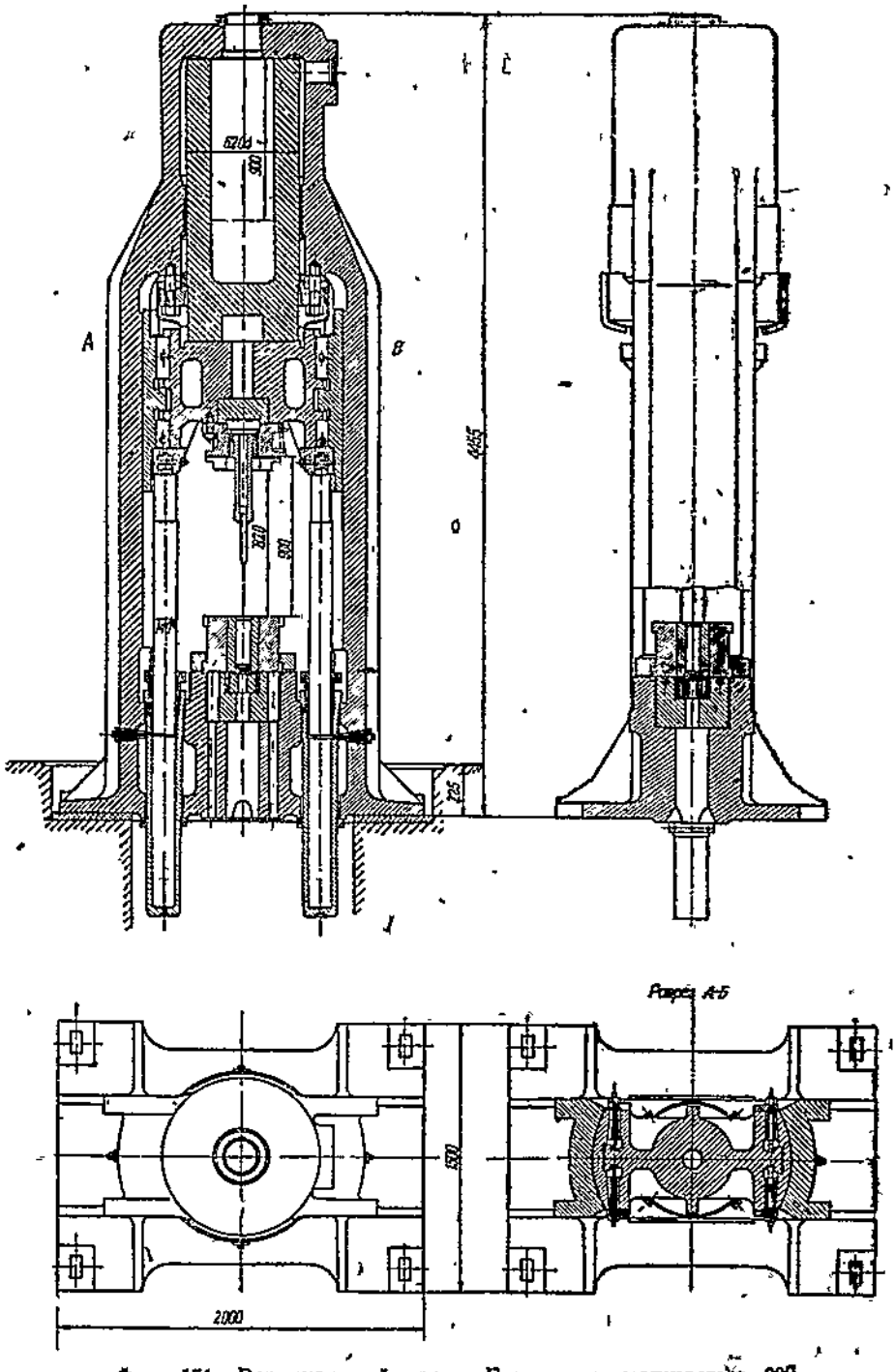
Фиг. 150. Вертикальный 300-т пресс «Гидравлик»

гарантирует правильность работы пресса и позволяет получать трубы малого диаметра, тонкостенные, с равной толщиной стенок. Ползун 5 связан с плунжерами 9 гидравлических цилиндров обратного хода 10. Машина проста и надежна.

На фиг. 151 изображен такого же типа 600-т вертикальный гидравлический пресс, работающий также при давлении в 200 кг/см².

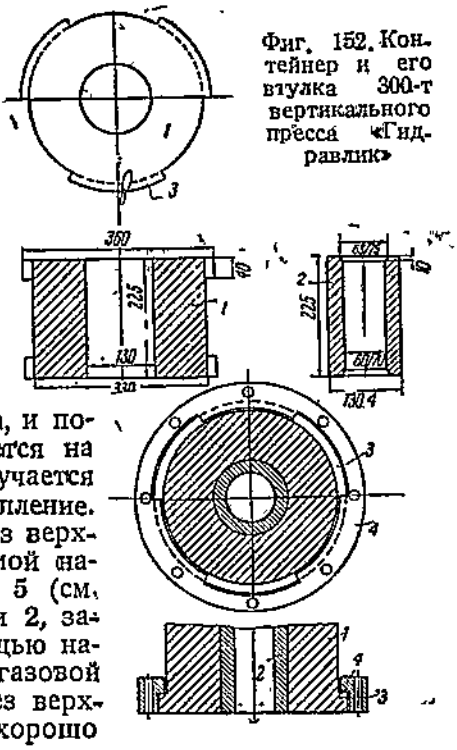
Остановимся только на конструкции контейнера и пуансона этих прессов, изображенных отдельно на фиг. 152 и 153.

На фиг. 152 изображен контейнер указанного выше 300-т вертикального пресса и показано его крепление на нижней плите. Корпус



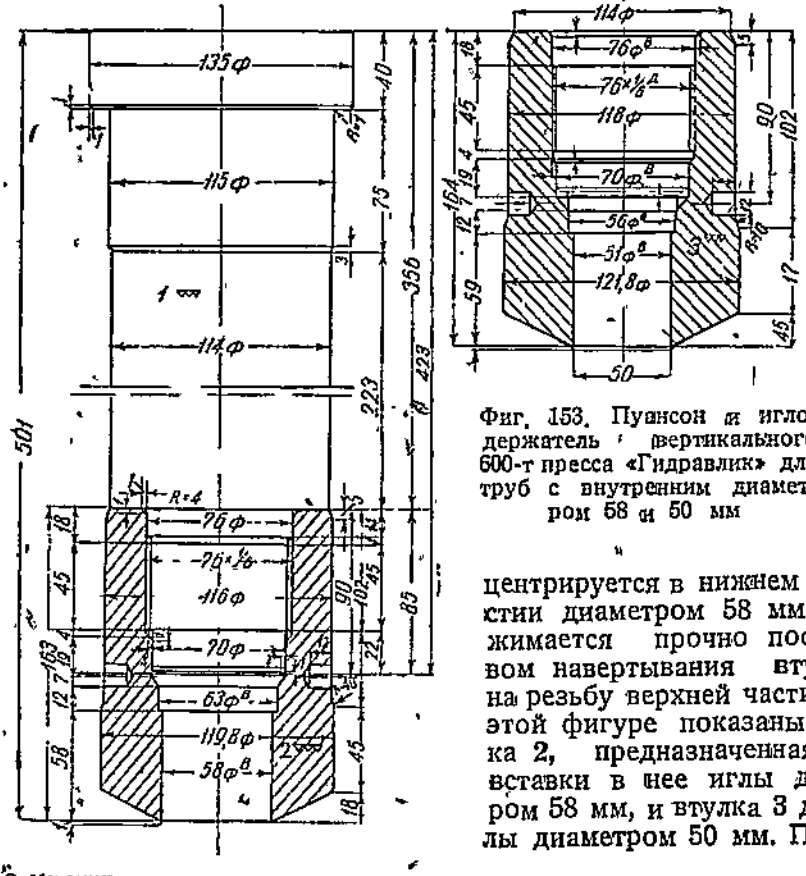
Фиг. 151. Вертикальный пресс «Гидравлик» мощностью 600 т

контейнера 1 делается обычно из простой углеродистой стали и имеет внутри диаметр расточки, равный 130 мм. Втулка контейнера 2 из специальной жароупорной, легированной, хромоникелевой стали, кругом чисто обработанная, имеет наружный диаметр 130,4 мм и вставляется в корпус при соответствующем нагреве последнего. Корпус контейнера имеет три фланца 3, с помощью которых он вставляется в соответствующие вырезы фланца 4, укрепленного шпильками на нижней плите пресса, и поворотом на угол в 60° закрепляется на этой плите. Таким образом получается легко разбираемое, но прочное крепление.



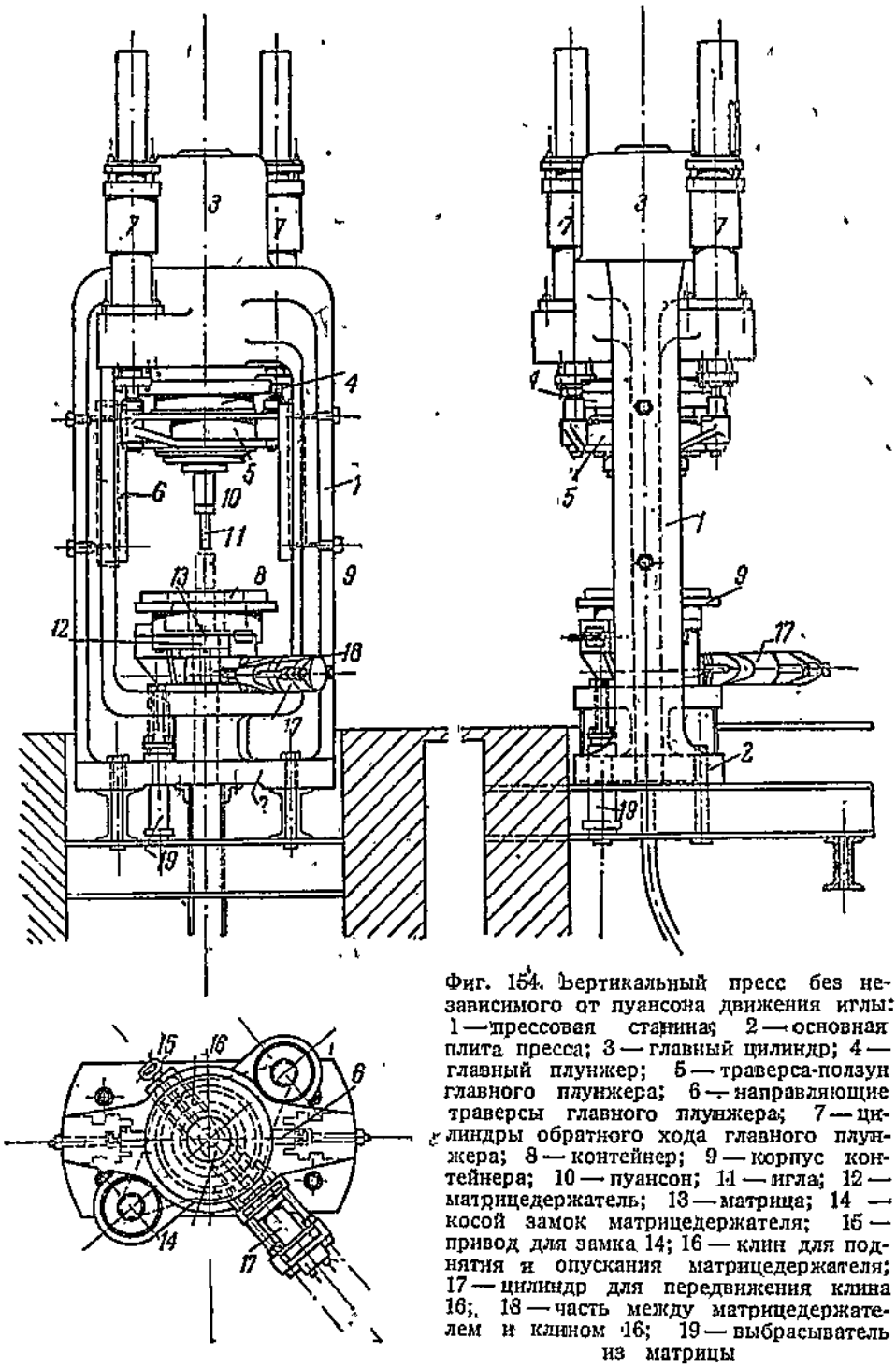
Фиг. 152. Контейнер и его втулка 300-т вертикального пресса «Гидравлик»

Пуансон этих прессов состоит из верхней части 1 (фиг. 153), укрепляемой накрепко и неподвижно в ползуне 5 (см. фиг. 150) и нижней части втулки 2, закрепляющейся на части 1 с помощью нарезки диаметром 76 мм с мелкой газовой резьбой, после вставки в нее через верхнее отверстие иглы. Последняя хорошо



Фиг. 153. Пуансон и иглодержатель вертикального 600-т пресса «Гидравлик» для труб с внутренним диаметром 58 и 50 мм

центрируется в нижнем отверстии диаметром 58 мм и зажимается прочно посредством навертывания втулки 2 на резьбу верхней части 1. На этой фигуре показаны: втулка 2, предназначенная для вставки в нее иглы диаметром 58 мм, и втулка 3 для иглы диаметром 50 мм. При та-

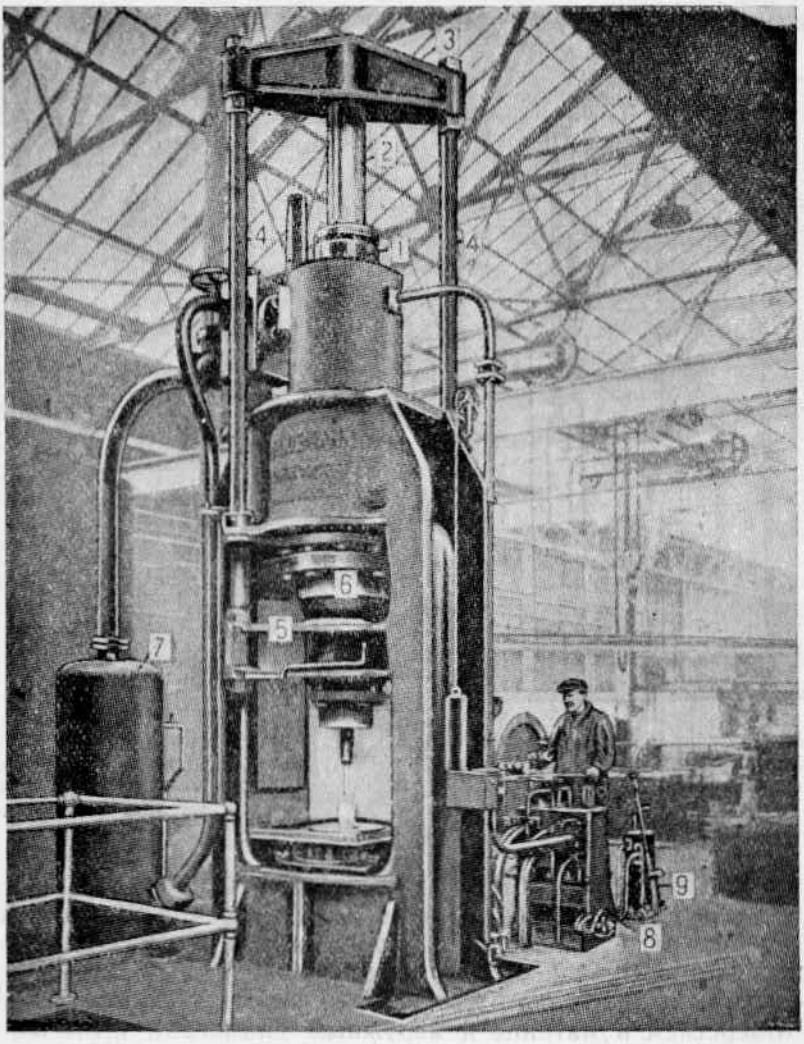


Фиг. 154. Вертикальный пресс без независимого от пуансона движения иглы: 1 — прессовая станина; 2 — основная плита пресса; 3 — главный цилиндр; 4 — главный плунжер; 5 — траверса-ползун главного плунжера; 6 — направляющие траверсы главного плунжера; 7 — цилиндры обратного хода главного плунжера; 8 — контейнер; 9 — корпус контейнера; 10 — пуансон; 11 — игла; 12 — матрицедержатель; 13 — матрица; 14 — косой замок матрицедержателя; 15 — привод для замка 14; 16 — клин для поднятия и опускания матрицедержателя; 17 — цилиндр для передвижения клина 16; 18 — часть между матрицедержателем и клином 16; 19 — выбрасыватель из матрицы

кой конструкции укрепления иглы гарантируется надежная установка ее, точность настройки и, в случае нужды, быстрая ее сменяемость без нарушения закрепления верхней части 1 пуансона в ползуне.

На фиг. 154 и 155 изображены несколько иной конструкции вертикальные пресса, отличающиеся от описанных выше. На фиг. 155

цилиндр обратного хода помещен на верху поперечины в виде входящего сверху внутрь главного цилиндра. Плунжер **2** цилиндра обратного хода главного плунжера **6** в верхней части несет поперечину **3**, к которой тягами **4** подвешен ползун **5**, скрепленный с головкой главного плунжера **6**. На фигуре слева виден виндкессель **7** и справа дистрибутор **8** и регулятор скорости (дроссельный клапан) **9**.



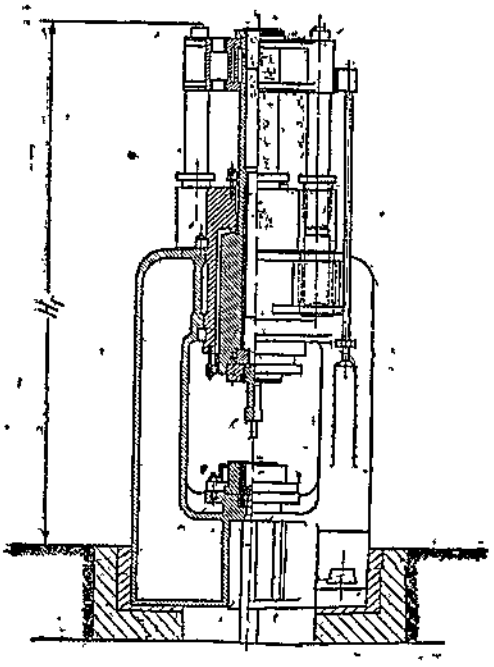
Фиг. 155. Вертикальный пресс Шлемана с иглой, не имеющей независимого от пуансона движения иглы:
1 — цилиндр обратного хода иглы и пуансона; 2 — плунжер цилиндра обратного хода; 3 — траверса; 4 — тяги от траверсы к ползуну главного плунжера; 5 — ползун главного плунжера; 6 — главный плунжер; 7 — виндкессель; 8 — дистрибутор; 9 — регулятор скорости

Последний механизм весьма полезен: при его помощи устанавливается определенная скорость поступления воды в главный цилиндр, а следовательно, и оптимальная для данного сплава и изделия скорость прессования, и тогда работа у дистрибутора сводится к быстрому, простому полному открытию и закрытию впускных и выходных клапанов без всякой регулировки скорости подачи воды с помощью неполного открытия клапанов.

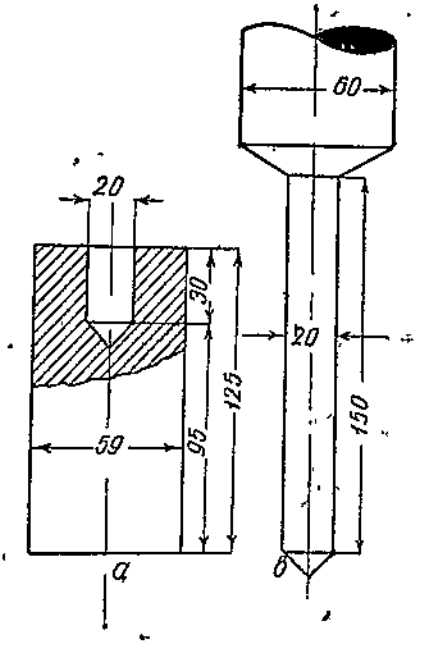
На фиг. 156 изображен такого же типа пресс, но со вставным кованым цилиндром, что представляет, как это отмечено выше, большой интерес.

Работают на таких прессах обычно следующим образом.

Отлитый круглый полый или сплошной (для ответственных изделий слегка обточенный) слиток или чаще всего полученную с другого мощного пресса круглую полую или без дыры заготовку диаметром 60—135 мм разрезают пилой на куски длиной 120—200 мм. Нарезанную заготовку центрируют (фиг. 157) сверлом с диаметром, равным



Фиг. 156. Вертикальный пресс Эймуко с иглой, укрепленной в пуансоне

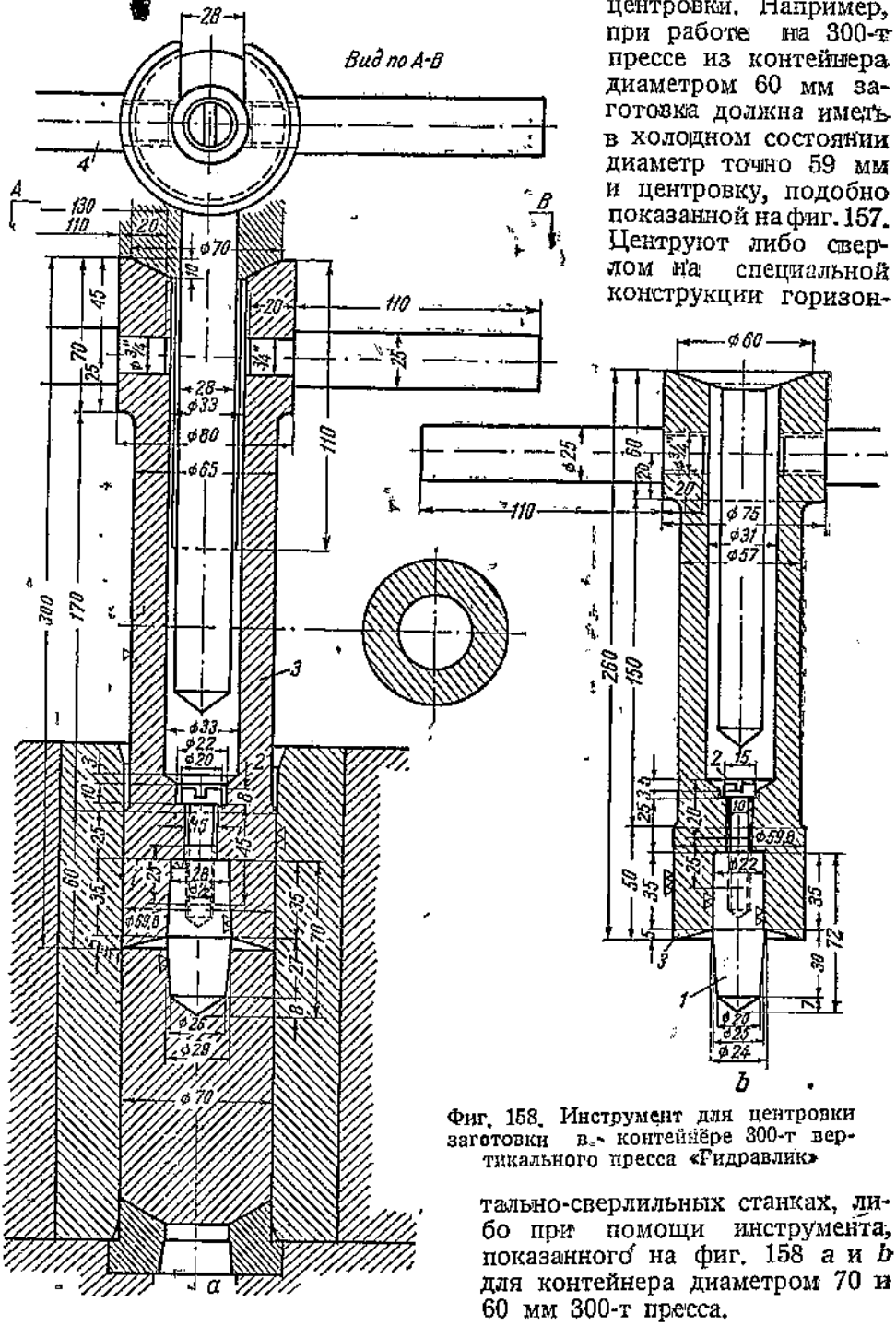


Фиг. 157. Заготовка *a* и пуансон с иглой *b* для вертикального пресса «Гидравлик»

внутреннему диаметру трубы, на глубину 25—30 мм, после чего она поступает в печь для нагрева. Нагретый слиток подают клещами в контейнер пресса, где он сначала прошивается иглой. При дальнейшем движении вниз пуансона на заготовку начинает давить широкая его часть, что и заставляет металл течь через кольцевое отверстие между отверстием в матрице и наружным диаметром иглы вниз, в шахту под полом, где он попадает сначала на согнутый, а далее на прямой железный жолоб, по которому выходит в виде длинной прямой тонкостенной трубы, требующей затем не многих, а лишь одной-двух протяжек до выхода в готовое изделие.

Таким образом вертикальные прессы по сравнению с горизонтальными обладают значительными преимуществами, из которых отметим следующие: 1) более низкую стоимость; 2) простоту конструкции; 3) простоту установки; 4) значительно меньшие размеры; 5) возможность изготовлять трубы с весьма ровными по толщине стенками и малого диаметра; 6) большую производительность таких труб; 7) низкую стоимость эксплоатации; 8) небольшой расход энергии; 9) значительно меньший процент отходов; 10) значительно меньший износ инструмента.

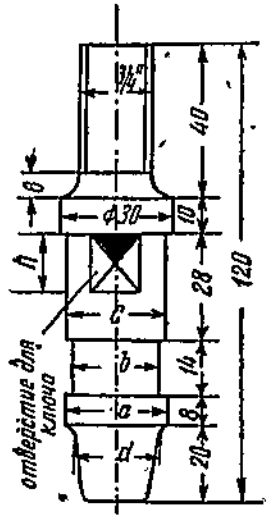
В частности, пресса второго типа среди других вертикальных прессов благодаря применению неподвижного контейнера и связанной с пуансоном иглы отличаются еще большей простотой, меньшей стоимостью и большей производительностью, но имеют и некоторые недостатки. Из-за отсутствия возможности осадить заготовку в контейнере для обеспечения правильной прошивки они требуют применения заготовок точного диаметра и их обязательной центровки. Например, при работе на 300-т прессе из контейнера диаметром 60 мм заготовка должна иметь в холодном состоянии диаметр точно 59 мм и центровку, подобно показанной на фиг. 157. Центруют либо сверлом на специальной конструкции горизонтально-сверлильных станках, либо при помощи инструмента, показанного на фиг. 158 *a* и *b* для контейнера диаметром 70 и 60 мм 300-т пресса.



Фиг. 158. Инструмент для центровки заготовки в контейнере 300-т вертикального пресса «Гидравлик»

Центровка при помощи подобного инструмента, однако, нерациональна и значительно (почти на 50%) снижает производительность пресса, почему обычно ее и выполняют с помощью сверла на специальных станках. Это, конечно, тоже несколько удорожает оборудование прессового цеха, но такой способ все же более рентабелен, чем центровка при помощи указанного выше приспособления.

Удаление остатка в прессах, не имеющих подвижного контейнера, также довольно затруднительно. Оно производится при помощи прибора, подобного изображенному на фиг. 158, только вместо центра 1 в оправку 3 вставляют прорезной пуансон (фиг. 159), по диаметру равный наружному диаметру прессуемой трубы минус 0,5 мм. Этим пуансоном остаток в контейнере прорезается, а следовательно, от него отрезается выпрессованная труба, которая уходит вниз по приемному жолобу, а остаток с подъемом пуансона вынимается вверх на оправке, откуда его сбивают молотком, оправку откладывают в сторону, в контейнер подается следующая заготовка и т. д. Эта операция, конечно, тоже непроизводительно задалживает пресс.

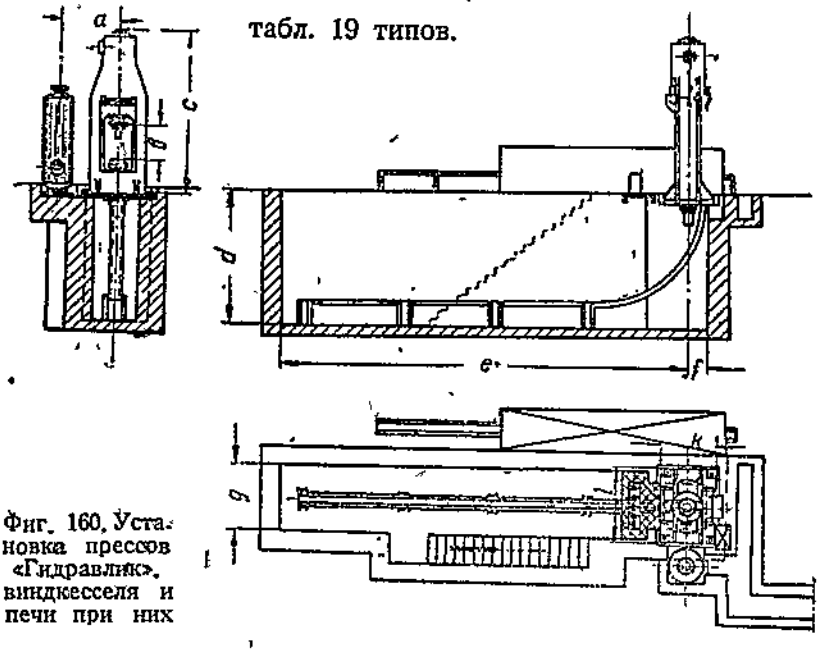


Фиг. 159. Прорезной пуансон 300-т вертикального пресса «Гидравлик» для отрезки остатка от отпрессованной трубы

В отношении охлаждения иглы вертикальные пресса находятся в лучшем положении, чем горизонтальные. Здесь охлаждение довольно хорошо выполняют, опуская после прессования иглу в особый стакан с маслом, в то время как иглы горизонтальных прессов приходится охлаждать с помощью кольцевой брызгалки водой, что, конечно, для материала игл и их стойкости значительно хуже.

В табл. 19 приведены характеристики наиболее часто применяемых на практике 300- и 600-т вертикальных прессов.

На фиг. 160 и в табл. 20 показаны размеры прессов, шахты и пр. для установки 300- и 600-т вертикальных прессов указанных в табл. 19 типов.



Фиг. 160. Установка прессов «Гидравлик», виндкесселя и печи при них

Таблица 19

Характеристика вертикальных прессов типа фиг. 150 и 151

(размеры, мм)

№ по пор.	Части прессов	Пресса 300-т	Пресса 600-т
1	Общая высота от пола	3505	4455
2	Фундаментная плита	1050×1550	1500×2000
	Главный цилиндр		
3	наружный диаметр	670	980
4	внутренний »	470	680
5	длина	1100	1400
	Главный плунжер		
6	наружный диаметр	440	620
7	внутренний »	200	350
8	длина	1260	1550
9	ход	750	900
	Обратный ход плунжера		
	Цилиндры:		
10	количество	2	2
11	наружный диаметр	150	190
12	внутренний »	102	142
13	плунжер: наружный диаметр	98	140
	ход	750	900
14	Радиус расточки в станине для ползуна	350	550
15	Наружный диаметр контейнера	330	400
16	Высота контейнера	225	300
	Скорость хода плунжера		
17	вниз, мм/сек	150	150
18	вверх »	300	300

Таблица 20

Установка вертикальных прессов типа фиг. 150—151 (см. фиг. 160)

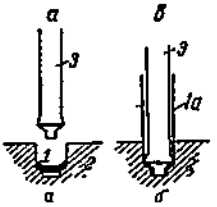
(размеры, мм)

Пресс	*a*	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*	*g*	*k*	*l*
Вертикальный 300-т	1200	750	3425	2650	7775	525	2000	1050	1550
» 600-т	1600	900	4455	3500	10600	525	2000	1500	2000

3. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ПРЕССА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СВИНЦОВЫХ ТРУБ [1]

Металлы более мягкие, как свинец, олово, в известной мере и алюминий, допускают прессование со значительно большими, чем для меди, латуни и пр. скоростями. Поэтому пресса для производства изделий из этих металлов значительно отличаются по своей конструкции от описанных выше. Такие изделия из свинца и сплавов свинца с оловом, как разного рода мелкие трубочки, наконечники, тубочки для пасты, колпачки для бутылочных головок и т. п., изготовляют на быстроходных прессах, обычно применяемых для холодной штамповки с использованием принципов прессования металла. Считаем необходимым несколько остановиться и на этих производствах. Процесс производства тубочек для пасты состоит в следующем.

Небольшой диск (фиг. 161, а) металла 1 помещается в закрытую матрицу 2 и пуансоном 3, имеющим соответствующую форму, металлу дается сильное давление сверху, отчего он и течет вверх (фиг. 161, *b*) по пуансону, образуя тело необходимой формы 1а; на головке делается нарезка, противоположный конец заворачивается и запаивается, и в результате получается тубочка для пасты. Течение металла при этом виде обработки настолько быстрое, почти мгновенное, что его невозможно наблюдать: тубочка длиной около 125 мм получается из кружка в некоторые доли секунды, причем пуансон имеет ход всего 5—6 мм. Толщина стенки такой тубочки 0,125—0,255 мм. Число ударов доходит до 500—1500 в мин. Таким же образом производятся и другие подобного рода изделия.



Фиг. 161. Схема производства свинцовых тубочек для пасты

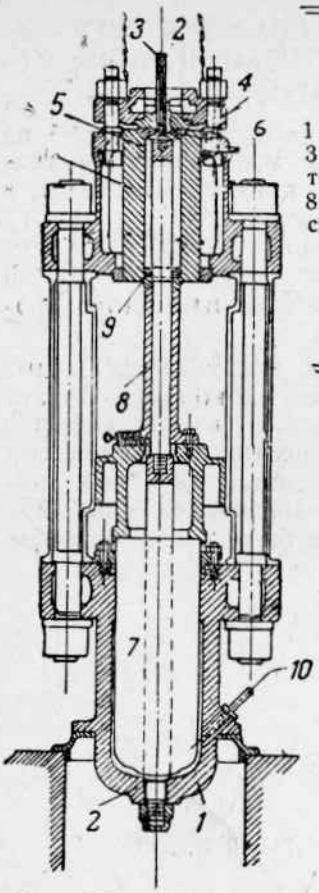
Свинцовые трубы и прутки изготовляют со скоростями, конечно, значительно меньшими по сравнению с этими, но тем не менее достаточно большими. В отношении прессования свинцовых труб и прутков за последние 50 лет техника сделала очень мало. Разница современных прессов от первоначальных выразилась главным образом только в отношении перехода от механического привода с нажимным винтовым устройством на гидравлический. Вначале для производства применяли заранее отлитый слиток. Впоследствии металл начали заливать непосредственно в контейнер.

На фиг. 162 [2] изображен пресс для производства свинцовых труб и прутков, очень часто применяемый на практике до последнего времени.

Процесс прессования идет следующим образом. При отведенном вниз вместе с пуансоном плунжере и при снятой с контейнера крышке с матрицей из расположенной рядом печи по желобку в контейнер наливается жидкий свинец. Некоторое время он затвердевает, после чего в цилиндр дается от насосов давление воды, плунжер с пуансоном и шайбой поднимается вверх, надавливает на металл в контейнере и заставляет его вытекать, как сказано выше, вверх в отверстие между матрицей и иглой. При выпуске воды из цилиндра двумя цилиндрами обратного хода, находящимися по сторонам главного (на фигуре не показаны), плунжер возвращается в исходное положение. Иногда такие цилиндры для обратного хода не устраивают

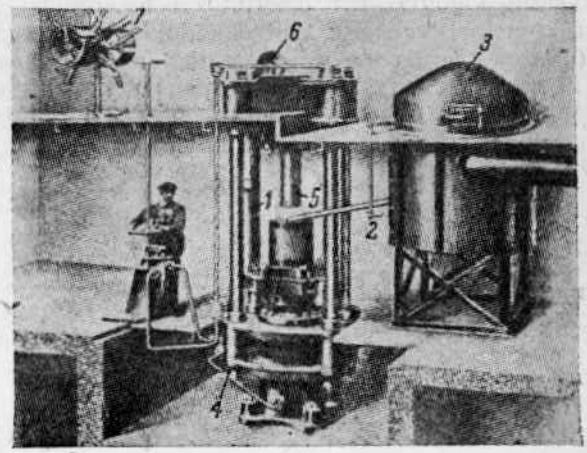
[1] R. Genders, The Extrusion of Metals, The Metal Ind. (L), 1932, v. XL, № 13, p. 345—349.

[2] Бергман, Горячая обработка металлов, т. IV, стр. 330, фиг. 160.



1 — гидравлический цилиндр; 2 — шток иглодержателя; 3 — неподвижно укрепленная игла; 4 — крышка контейнера; 5 — контейнер; 6 — матрица; 7 — плунжер; 8 — трубка, входящая в контейнер 5; 9 — шайба, скользящая по иглодержателю, являющаяся пуансоном; 10 — трубка для подачи воды

Фиг. 162. Пресс старой конструкции для изготовления свинцовых труб и прутков



Фиг. 163. Пресс новой конструкции для изготовления свинцовых труб и прутков

и плунжер по мере выпуска воды из цилиндра спускается вниз под влиянием собственного веса.

Полезная емкость контейнера такого пресса составляет 150 кг свинца; максимальное давление, развиваемое пуансоном, достигает 400 т. Таким методом можно изготовлять трубы диаметром до 100—150 мм указанного выше веса. Труба по выходе из матрицы совершенно пластична, почему очень легко сгибается на барабане моталки в круги; в таком виде ее обычно отправляют заказчику.

В современной установке для этой цели (фиг. 163)[1] контейнер **1**, в который по желобку **2** заливается свинец из печи **3**, делается закрытым снизу и устанавливается на плунжере гидравлического цилиндра **4**. Матрица устанавливается на конце неподвижного полого пуансона **5**. Налитый из печи свинец охлаждается и по достижении определенной температуры подвергается сильному давлению гидравлического цилиндра. При этом контейнер поднимается вверх, пуансон с матрицей входит в него, и получаемый пруток или труба выходит вверх, перегибается через ролик **6** и моталкой **7** наматывается в круги. Часть металла всегда остается на дне в контейнере, но следующая порция металла с высокой температурой опять расплавляет ее.

[1] R. Genders, The Extrusion of Metals, The Metal Ind. (L), 1932, v. XL, № 13, p. 345—349, fig. 4.

4. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ПРЕССА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТРУБ МЕТОДОМ ПРОТАЛКИВАНИЯ ПОЛОЙ ЗАГОТОВКИ НА ДЛИННОЙ ОПРАВКЕ ЧЕРЕЗ РЯД МАТРИЦ

Описание современных методов производства бесшовных труб из цветных металлов было бы неполным, если бы мы не остановились еще на одном методе, близком к прессованию и применяемом также в производстве труб стальных и цветных металлов.

Этот метод носит разные названия («Stossbank», «Push Bench Process»[1] или по имени его изобретателей Wellmann—Peters Push Bench Process») и представляет собой усовершенствование известного процесса Эргардта.

Сущность его состоит в следующем. Слиток, или квадратная катанка, непосредственно после прокатки режется на короткие куски. Такой квадратный слиток со стороной квадрата a прошивается в круглого сечения контейнере D под сильным вертикальным прессом (ранее для этого применялись горизонтальные пресса) [2] иглой диаметром d с раздачей материала в радиальном направлении (фиг. 123). Диаметр иглы берут таким, чтобы площадь ее была равна четырем площадям m:

$$\frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi D^2}{4} - a^2.$$

Так как

$$D^2 = 2a^2,$$

или

$$a^2 = \frac{D^2}{2},$$

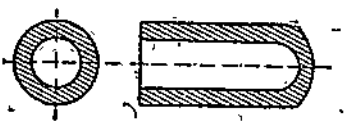
то

$$\frac{\pi d^2}{4} = 0{,}785\ d^2 = \frac{\pi D^2}{4} - \frac{D^2}{2} = D^2(0{,}785 - 0{,}5).$$

Отсюда

$$d = \sqrt{0{,}363\ D^2} = 0{,}6\ D.$$

Прошивка делается не сквозная, а так, что заготовка получается в виде полого тела с донышком (фиг. 164). Эту заготовку после подогрева надевают на длинный стержень реечного стана или гидравлического с длинным ходом горизонтального пресса; она быстро продвигается через ряд (от 5 до 12 шт.) с уменьшающимся диаметром отверстий матрицы (фиг. 165, верх), придающих трубе за один проход требуемый наружный диаметр. Внутренний диаметр определяется диаметром стержня. Так как стержень этот будет плотно зажат в трубе, то для его извлечения приходится трубу пропускать далее через риллинг-машину (фиг. 165, низ), в которой диаметр трубы несколько увеличивается, а затем для придания ей точных размеров через калибровочный стан.

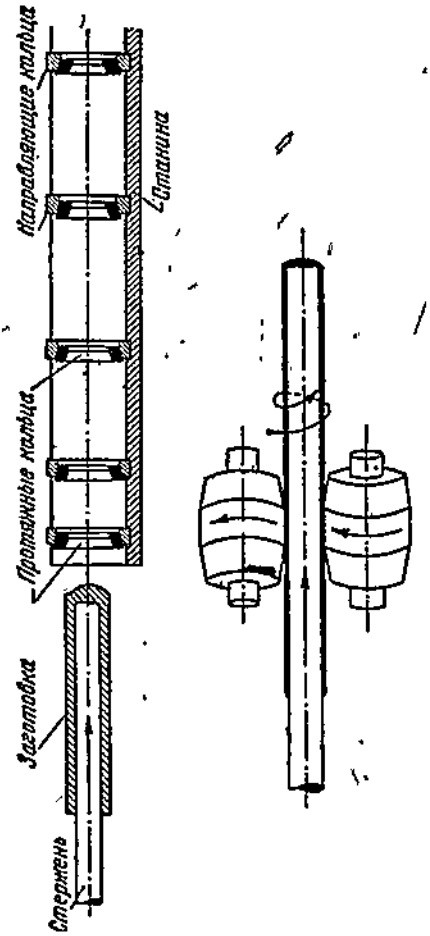


Фиг. 164. Прошитая заготовка (гильза) для протяжки на трубу

Скорость протяжки в первых установках была 4 м/сек, а в последних достигает 10,2 м/сек. Метод этот весьма производителен. Один стан, например, обеспечивает производительность труб диаметром 63,5 мм 180 шт. в час и диаметром 220 мм — 100 шт. в час.

[1] G. Evans, Progressive Features in the Manufacture of non—Ferrous Seamless Tubes, The Metal Ind. (L), 1934, v. XLV, № 7, August, p. 147—149.

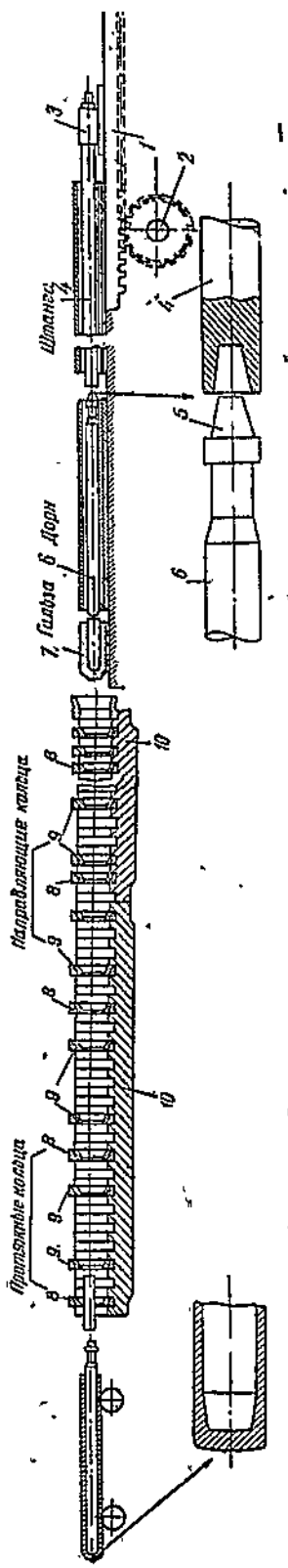
[2] Для желающих ознакомиться с их конструкцией рекомендуем книгу Н. П. Бесклубенко, Производство стальных труб, 1935, стр. 148 и того же автора — Технология производства труб, 1941, стр. 281—310.



Фиг. 165. Схема протяжки на стержне в горячем состоянии труб через ряд матриц и прокатки их на риллинг-машине для раздачи трубы и освобождения из нее стержня

Первая такая установка была сделана в Англии в 1924 г. для труб диаметром от 63,5 до 100 мм с толщиной стенки до 3,4—3,75 мм и длиной до 5,5 м. Впоследствии такого же типа, но более сильные установки были сделаны в Англии, Южной Африке, а в последние годы в Канаде для труб диаметром от 63,5 до 220 мм и длиной до 7,62 м. Прошитая заготовка, применяемая при такой протяжке, имеет длину до 3 м. У нас, в СССР, также имеются такие установки, построенные для труб диаметром от 60 до 220 мм; они работают на квадратных слитках до 200 × × 200 × 700 мм.

На фиг. 166 изображен реечный протяжной стан. Рейка 1, приводимая в движение от мощного мотора с помощью видимого на фигуре зубчатого колеса 2, несет на себе каретку 3, в которой укреплена длинная штанга 4. В конец этой штанги вставляется коническим хвостовиком 5 длинный стержень (дорн) 6, определяющий



Фиг. 166. Схема станка для протяжки на стержне труб в горячем состоянии

внутренний диаметр трубы. На него надевается гильза 7 и проталкивается через ряд протяжных рабочих колец 8 (на фиг. 166 их показано 6 шт.) и направляющих колец 9 (на фиг. 166 их показано 9 шт.). Рабочие кольца ставятся в станине 10 одно от другого на разных все увеличивающихся к концу процесса расстояниях с таким расчетом, чтобы вытягивающаяся по мере утонения стенки гильза одновременно проходила во избежание перегрузки мотора не более чем через два кольца. Направляющие кольца имеют своим назначением препятствовать прогибу стержня. На фиг. 166 справа показан момент начала процесса и слева — конца, когда труба прошла через все кольца.

Общая длина, занимаемая такой установкой, достигает 83 м, причем самая станина, в которой вставлены протяжные кольца, имеет длину 20 м. Мощность мотора постоянного тока 1300 квт. При крайних положениях рейки ее движение автоматически выключается. Управление установкой кнопочное.

Протяжные кольца имеют обычный вид, как и при протяжке в холодном состоянии; их изготовляют из отбеленного чугуна, а в последнее время из специальных сталей и даже твердых сплавов (видиа), отчего стойкость их возросла от 80—100 протяжек соответственно до 1000—10 000 протяжек.

Стержни делают из твердой марганцовистой стали с содержанием 0,6% С и не более 0,5% Мп. Стержни эти для увеличения твердости обкатываются в холодном состоянии на специальных дорнообкаточных станках типа риллинг-машин и шлифуются.

Ниже, в табл. 21, показаны размеры заготовки для разных диаметров труб и производительность такого стана.

Таблица 21

№ по пор.	Наружный диаметр труб мм	Размеры требуемой заготовки мм	Производительность труб, час.	
			шт.	т
1	60	90 × 90 × 370	120	2,71
2	80	110 × 110 × 460	160	6,70
3	100	130 × 130 × 480	160	9,89
4	120	160 × 160 × 470	100	9,13
5	150	190 × 190 × 470	100	12,90
6	200	230 × 230 × 475	80	15,32
7	220	240 × 240 × 440	80	17,22
8	220	260 × 260 × 645	80	26,55

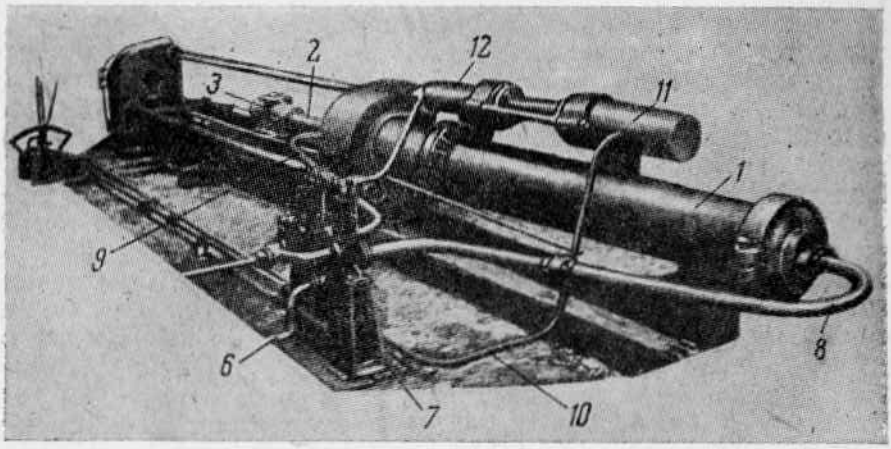
Средняя годовая производительность такой установки при 300 рабочих днях и работе в 3 смены по 7 час. гарантируется до 60 000 т труб. Эта производительность нашими рабочими значительно перевыполняется.

Общий вес оборудования, состоящего из комплекта толкателей у печей, рольгангов, пилы, тележки для подачи заготовки, вертикального пресса, протяжного стана, риллинг-машины, извлекателя стержня и двух пил для обрезки на выход, аккумулятора на 470 л × × 200 кг/см², компрессора, насосов и пр., составляет около 1000 т.

Вся установка обслуживается главным мотором на протяжном стане постоянного тока в 1300 квт (управляется от установки Ильгнера, которая здесь не перечисляется) и асинхронными моторами, обслуживающими: риллинг-машину — 175 квт, калибровочный стан — 145 квт, насосы — 310 квт, горячее волочение — двумя моторами по 150 квт, а всего 2230 квт плюс установка Ильгнера.

В 1931 г. завод Babcock and Wilcox (Beaver Falls, U. S. A.) еще далее усовершенствовал этот метод производства и начал производить прошивку не на прессе, а в стане с косыми валками. Этот метод он применил сначала в производстве труб стальных, а затем с 1934 г. его британским отделением он был применен с большим успехом к производству труб медных и латунных.

Это повлекло за собой увеличение производительности, ускорение процесса и удешевление производства.



Фиг. 167. Общий вид гидравлического пресса Фильдинга для протяжки на стержне в горячем состоянии труб через ряд матриц; пресс снабжен гидравлическим мультипликатором, позволяющим повысить нормальное давление с 75 до 170 т:
1 — цилиндр; 2 — шток поршня; 3 — ползун; 4 — штанга, укрепленная на ползуне, в которую коническим хвостом вставлен стержень 5; 6 — труба для подачи воды высокого давления к дистрибутору 7; 8 — труба для подачи воды для хода вперед; 9 — труба для подачи воды для обратного хода; 10 — труба для воды высокого давления в цилиндр; 11 — цилиндр; 12 — цилиндр большего диаметра, связанный общим штоком с цилиндром 11

На фиг. 167 изображен оригинальной конструкции гидравлический 170-т пресс для протяжки труб на стержне английской фирмы Fielding [1]. Устройство протяжной установки одинаково с фиг. 166. Ход ползуна 5,5 м. Если бы нормального давления пресса в 75 т оказалось недостаточно, то его можно увеличить до 170 т с помощью смонтированного вместе с прессом специальной конструкции гидравлического мультипликатора.

Вследствие разности диаметров штоков цилиндров в цилиндре **12** развивается повышенное гидравлическое давление, которое и передается в цилиндр **1**, создающий силу давления в 170 т.

[1] G. Evans, Some Aspects of the non-Ferrous Metals Trade, Metallurgia, 1939, v. 19, № 14, April, p. 225—226.

5. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПРЕССА ДЛЯ ПРАВКИ ПРУТКОВ И ПРОФИЛЕЙ РАСТЯЖЕНИЕМ

Прутки после прессования, обычно разрезанные на куски, идут на заготовку для кузнечных работ или для труб небольшого диаметра, прессуемых на вертикальных прессах. В первом случае нарезка производится на быстроходных пилах, а во втором обычно соединяется с операцией центровки и выполняется на специальных токарных станках револьверного типа. Поэтому, если в первом случае достаточной является обычная правка под разного рода механическими прессами, то во втором правка требуется более тщательная. Кроме того, для разного рода точных работ часто требуется правка особо точная. Эти последние операции могут быть выполнены только на специальных гидравлических станках-прессах, производящих правку прутков растяжением (вытяжка не более 2—3%).

Еще сложнее правка после прессования дуралюминовых и электронных профилей. Дело в том, что эти последние выходят из матрицы пресса не только недостаточно прямыми, но, что еще хуже, часто закрученными вдоль в виде винтовой линии. Такие изделия приходится править на особого вида гидравлических специальных станках-прессах, снабженных устройствами для разворачивания получившегося свертывания профилей.

Ниже и приводится описание таких станков.

На фиг. 168 дан чертеж гидравлического станка с силой тяги до 200 т при давлении воды до 350 кг/см^2 для правки растяжением крупных прутков и профилей длиной до 12 м. Станок этот имеет следующее устройство.

Массивные литые стальные рамы 1, лежащие на балках со стойками 2, имеют уложенные по верхним полкам рельсы 3, по которым на колесах 4 и 5 ходит двухосная тележка 6. Эту тележку с помощью мотора 7 или (в случае его порчи) с помощью ручного маховичка 8 можно передвигать вдоль по рельсам в зависимости от длины подлежащего правке прутка. На требуемом месте тележка останавливается с помощью поворота маховичка 9 на его оси, имеющей две противоположных винтовых нарезки, гайки 10 сдвигаются или раздвигаются, и связанными с ними рычагами 11 валики 12 вводятся в отверстия 13 в стенках рам 1, чем тележка 6 закрепляется на определенном месте. Эта тележка несет на себе подвешенный снизу гидравлический цилиндр 14, шток которого 15 сдвигает или раздвигает клиновидные ползуны 16, своими щечками прочно зажимающие лежащий на роликах 17 пруток 18. Таким образом, эта тележка передвигается и устанавливается перед работой и во время правки данной партии прутков остается неподвижной.

Самая правка растяжением производится гидравлическим устройством в противоположной «головной» части станка, работающей следующим образом.

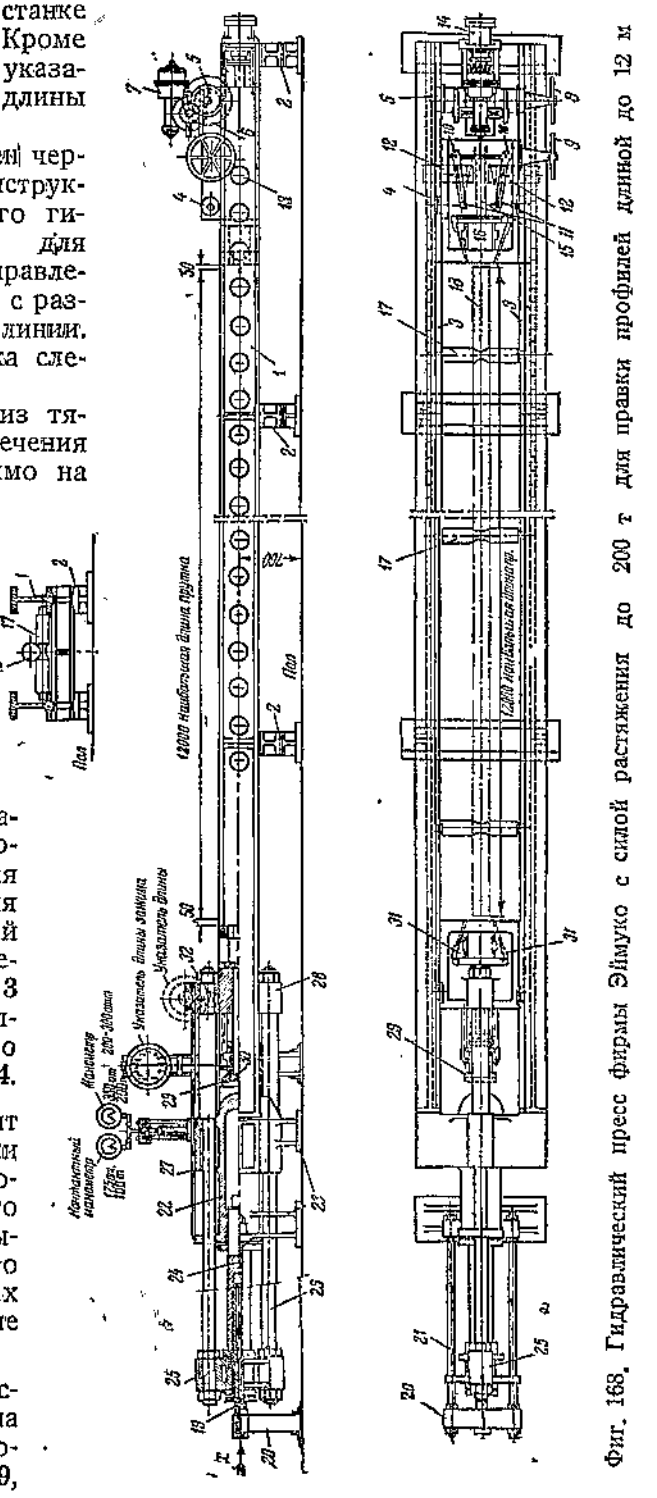
Необходимая для работы вода вводится по стрелке x через полый шток 19, укрепленный в неподвижной стойке 20, тягами 21 связанной с корпусом главного цилиндра 22, укрепленного на фундаменте с помощью стоек 23. Входящая по полому штоку 19 вода заставляет полый шток 24 цилиндра 22 двигаться вперед (по чертежу вправо); тащит за собой траверсу 25, которая тягами 26, проходящими через бронзовые направляющие 27, подает вперед головку 28, несущую в себе связанный с ней цилиндр 29 с поршнем 30, производящим с помощью клиновидных ползунов 31 захват переднего конца прутка. Головка 28 с помощью роликов 32 опирается на рельсы 3, уложенные на верхних полках основных балок рамы 1.

Таким образом подачей воды в цилиндры **14** и **30** пруток зажимается щечками клиньев **16** и **31**, а подачей воды в главный цилиндр станка **22** — растягивается на соответствующую длину и правится.

Станок работает соответственно величине сечения прутка при переменном давлении, указываемом установленными в станке двумя манометрами. Кроме того, на нем имеются указатели длины вытяжки и длины зажима прутка.

На фиг. 169 приведен чертеж несколько иной конструкции более совершенного гидравлического станка для правки профилей с исправлением искривления, т. е. с развертыванием винтовой линии. Устройство этого станка следующее.

Массивная рама **1** из тяжелых двутаврового сечения балок укреплена прямо на фундаменте. На верхних полках этих балок уложены зубчатые рейки **2**, назначение которых указано далее. Рядом с этими рейками уложены прямоугольного сечения рельсы, по которым движется на роликах **3** устанавливаемая в определенном месте, в зависимости от длины профиля, переставляемая тележка **4**, во время правки профилей данной партии остающаяся неподвижной. Ролики **3** вставлены в особые вилки **5**, укрепленные во фланцах рамы тележки **4**.

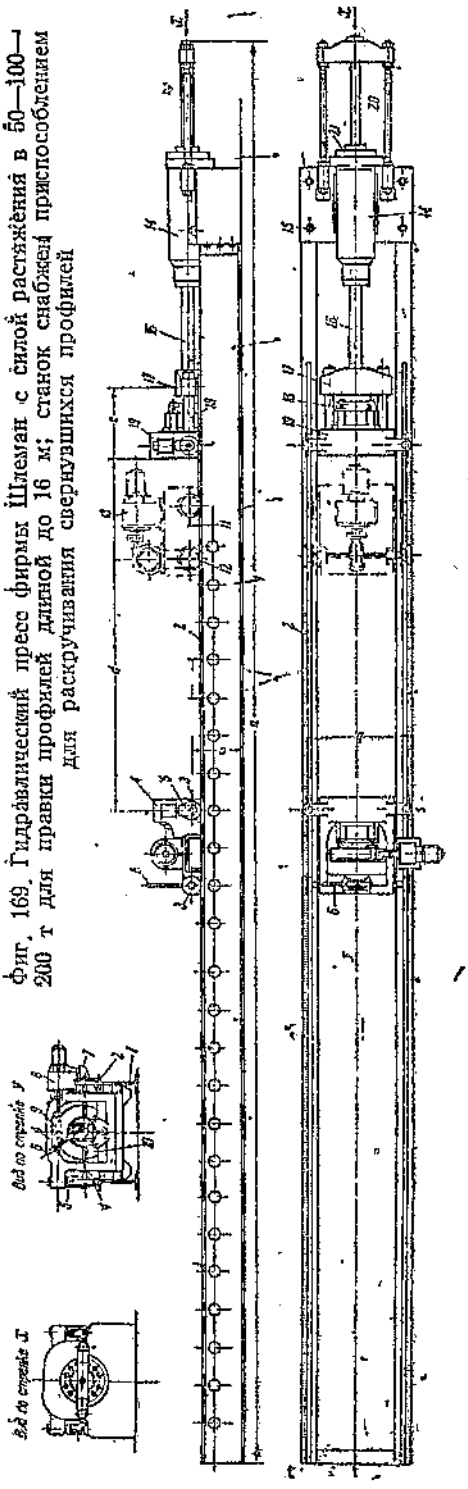


Фиг. 168. Гидравлический пресс фирмы Эймуко с силой растяжения до 200 т для правки профилей длиной до 12 м

Рукоятка **6** служит для укрепления тележки на данном месте, подобно тому как это было описано в предыдущем станке, для чего рама **1** имеет в стенках также соответствующие круглые отверстия.

На кронштейне **7** установлен мотор **8**, на продолжении вала которого имеется червяк **9**,

находящийся в зацеплении с наружным зубчатым венцом показанного на чертеже (см. вид по стрелке у) пунктиром цилиндрического корпуса 10, несущего в себе зажимные губки для захвата конца профиля. Мотор 8 — реверсивный, что дает возможность при растяжении поворачивать корпус 10 в ту или в другую сторону и таким образом развертывать винтовую линию. Установка тележки 4 делается не сложным гидравлическим устройством, как в описанном выше станке, а с помощью простой съемной тележки 11 с роликами 12 и мотором 13. Тележка эта двухосная, причем ролики задней оси двигаются по рельсам, а ролики передней — и по рельсам, и по зубчатым рейкам 2. Ясно, что наличие реек дает возможность при помощи мотора 12 этой тележкой 11 передвигать и устанавливать тележку 4 в любом месте. После ее установки тележка 11 снимается краном и убирается в сторону, чтобы не мешала работать.



Фиг. 169. Гидравлический пресс фирмы Шлеман с силой растяжения в 50—100—200 т для правки профилей длиной до 16 м; станок снабжен приспособлением для раскручивания свернувшихся профилей

Самая правка растяжением производится с помощью цилиндра 14, укрепленного болтами 15 на фундаменте в конце рамы 1. Устройство этого узла такое же, как было описано в предыдущем станке. Ввиду отсутствия на этой фигуре разреза, для того чтобы читатель мог легче разобраться в устройстве этого узла, в скобках даются номера позиций по фиг. 168, одинаковых с разбираемыми на фиг. 169.

Полая скалка 20 (19), через которую подается вода по стрелке х, входит внутрь подвижного цилиндра-скалки 21 (24), составляющего своим продолжением меньшего диаметра скалку 16, связанную с упомянутой выше траверсой 17. При подаче воды по стрелке х внутрь скалки 21 (16) тележка 19 будет подаваться (по чертежу) влево, при подаче же воды прямо в цилиндр 14 давление на большую кольцевую площадь, получающуюся из-за разности диаметров скалки 21 (16), будет тянуть тележку 19 вправо, вытягивать профиль и таким образом производить его правку.

Станок может развивать растягивающее усилие в соответствии с сечением профиля от 50 до 200 т при подаче переменного давления

воды от 75 до 300 кг/см². Указанного усилия вполне достаточно для правки обычных применяемых на практике средних размеров профилей.

Для правки очень крупных профилей длиной до 15 000 мм такие машины строятся с силой тяги от 280 до 700 т при давлении воды до 240 кг/см² и ходе плунжера 1200 мм. Эти машины применяются со своими индивидуальными насосными установками без аккумуляторов.

Производительность их 88 л/мин при давлении 50 кг/см² и 22 л/мин при давлении 300 кг/см² и числе оборотов вала 125 в минуту с мотором 24 л. с. (теоретически потребная мощность 21 л. с.) при 1000 об/мин., передача клинчатыми ремнями 1 : 4. При насосе имеется водяной бак емкостью 450 л.

Характеристика описанного выше (фиг. 169) станка приведена в табл. 22.

Таблица 22

Характеристика пресса-станка для правки профилей с исправлением их искривления (к фиг. 169)

Растягивающая сила т	Рабочее давление воды кг/см²	Ход плунжера и тележки мм	Максимальная длина профиля мм	Основные размеры, мм			Вес т
				a	*b*	*c*	
50—100—200	75—150—300	1000	16 000	23 100	1500	700	32,0

6. АККУМУЛЯТОРЫ, ИХ НАЗНАЧЕНИЕ И УСТРОЙСТВО, НЕОБХОДИМАЯ ПРИ НИХ АППАРАТУРА, ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ РАЗНЫХ СИСТЕМ

Аккумуляторы служат для накопления во время пауз необходимого объема находящейся под определенным давлением воды и для поддержания более равномерного давления воды в сети, питающей пресса. При наличии достаточного объема аккумулятора насосы можно рассчитывать не на максимальный расход воды во время работы пресса, а на средний в секунду, исходя из числа прессовок в час.

При работе с аккумулятором скорость работы обычно бо́льшая, чем при работе непосредственно от насосов.

Это объясняется следующим. При работе непосредственно от насосов последние должны иметь громадную производительность для того, чтобы в короткий промежуток времени самого прессования дать быстро полный ход рабочему поршню. Остальное время, более продолжительное (во время паузы), мощные насосы не будут использованы, и напрасно затрачивается энергия. Поэтому приходится брать насосы меньшей производительности, а это задерживает работу. При работе с аккумуляторами, наоборот, насосы ставят сравнительно небольшой мощности. Они работают почти непрерывно, подавая воду в надлежащего объема аккумулятор. Последний, правильно рассчитанный, во время рабочего хода пресса быстро дает потребное количество воды из своего запаса, отчего работа идет более успешно при экономном расходовании энергии и средств на установку.

Вычислим, например, мощность насосов для работы приведенного выше на фиг. 128 пресса. Если у нас диаметр главного рабочего

плунжера $D = 6{,}6$ дм, а скорость его хода $v = 1{,}2$ м/мин, то мощность насосной установки без аккумулятора в литрах в минуту должна быть:

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} \cdot v = 0{,}7854 \cdot 6{,}6^2 \cdot 12 = 410{,}52 \text{ л/мин.}$$

При наличии же аккумулятора соответствующей мощности при прессовании 40 слитков в час, считая, что насосы работают более или менее равномерно, их производительность при длине слитка $l = 600$ мм $= 6$ дм должна быть всего

$$Q_1 = \frac{1}{60} \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot l \cdot 40 = \frac{0{,}7854 \cdot 6{,}6^2 \cdot 6 \cdot 40}{60} = 137{,}1 \text{ л/мин.}$$

Разница, как видно, очень большая. Отсюда понятно, почему всегда предпочитают снабжать пресса аккумуляторной установкой.

Аккумуляторы бывают грузовые и пневматические. Расчет объема аккумуляторных установок приведен далее в главе IV, здесь же дается только их описание.

Аккумуляторы грузовые

Грузовой аккумулятор был изобретен в 1846 г. англичанином Армстронгом. На фиг. 170 дано устройство такого грузового аккумулятора. Он состоит из следующих частей.

Стальной цилиндр (фиг. 170,*а*) 1, имеющий на верхнем конце сальник с уплотнением посредством кожаных манжет, вертикально укреплен на чугунной фундаментной плите 2, покоящейся на мощном фундаменте. В цилиндре ходит толстый (диаметром 254 мм) стальной шток 3, на его конце надета стальная литая поперечина 4, а на ее концах подвешена с помощью четырех длинных болтов 5 стальная плита 6. На этой плите уложено 12 чугунных толстых дисков—грузов. Эта плита со всеми грузами при самом нижнем положении аккумулятора опускается на деревянные подставки 7, вставленные в отверстия в фундаментной плите 2 и служащие для смягчения удара на фундамент при быстрой посадке тяжелого груза вниз.

Вода от насоса подается по 2″ трубке (ответвление от нее идет к прессу), присоединение которой к корпусу цилиндра указано на фиг. 170, *а*. Короткий кусок трубки оканчивается поставленным на резьбе и приваренным цилиндрическим кольцом в виде узкого, но толстого фланца, входящего в углубление корпуса цилиндра и прижимающего кожаную прокладку. Зажим трубки производится фланцем с помощью четырех болтов. Здесь же отдельно указан вид снизу на фундаментную плиту 2 (фиг. 170, *б*).

Конструкция этого аккумулятора обладает тем недостатком, что его нагрузка является постоянной, поэтому он не допускает работы с переменным давлением. Последнее необходимо при прессовании разных сплавов, а иногда и разных диаметров прутков и других изделий для ведения процесса прессования с отвечающей данным условиям оптимальной для качества продукции скоростью.

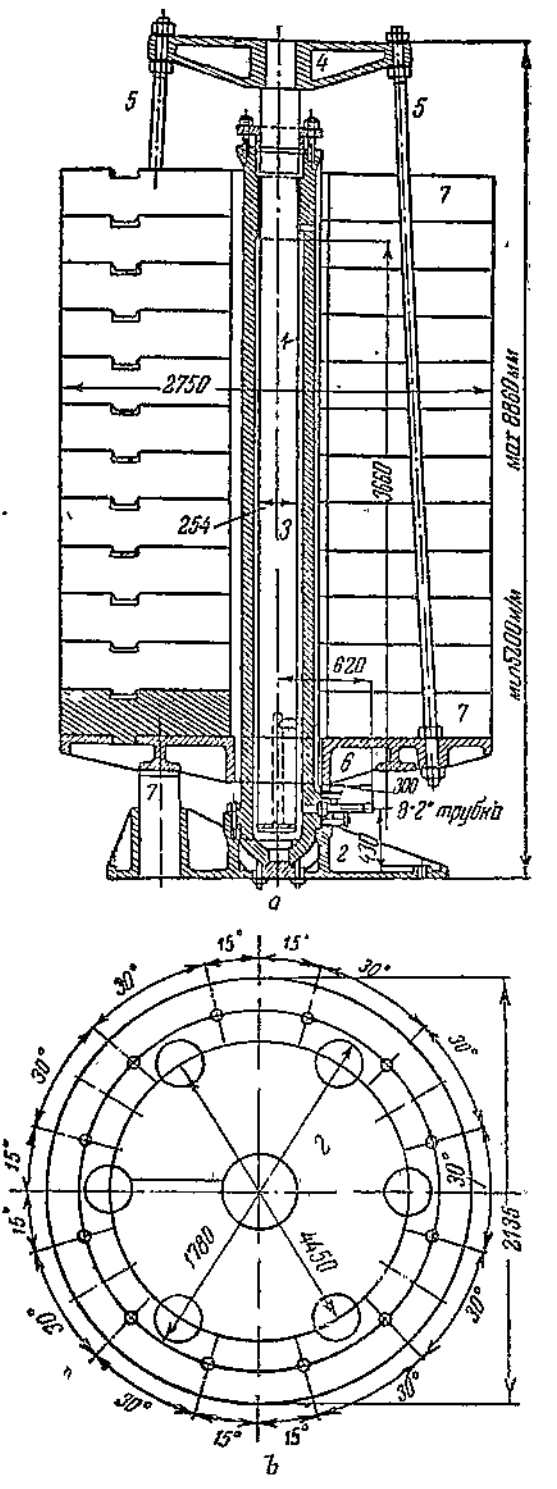
Аккумулятор более совершенной конструкции изображен на фиг. 171. Здесь, как и выше, стальной цилиндр 1, состоящий из двух соединенных фланцами половин, укреплен на фундаментной плите 2. В цилиндр входит стальной шток 3 диаметром 500 мм, на конце которого надета стальная массивная шайба 4 с тремя радиальными выступами, к которым привернуты особые лапы 4а, направляющие при подъеме эту шайбу по двум вертикальным стойкам, состоящим каж-

дая из двух коробчатого сечения балок, прочно укрепленных внизу и вверху. Этим обеспечивается устойчивость всей системы.

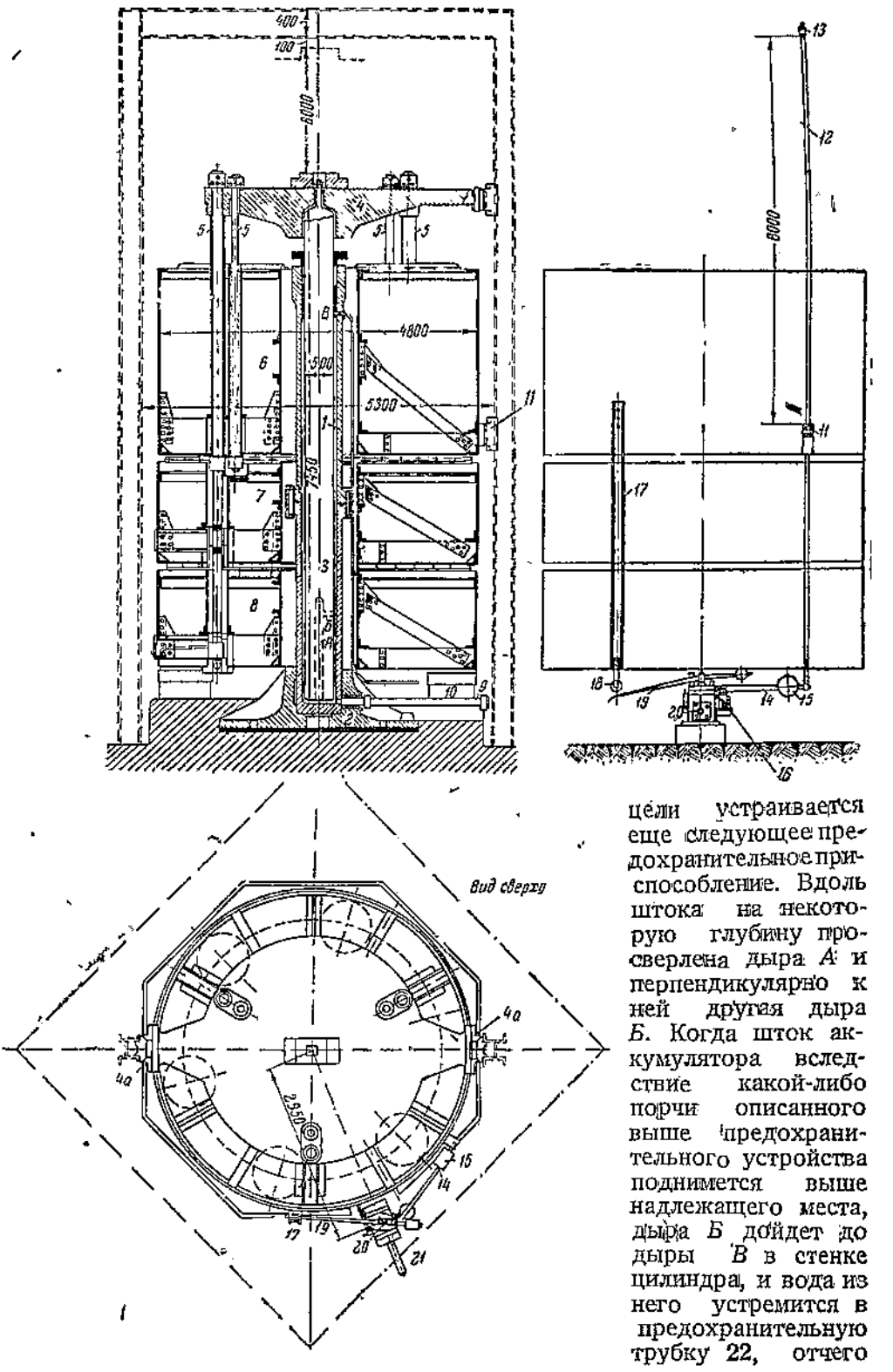
Посредством болтов 5 к этой стальной шайбе подвешены железные клепаные баки 6, 7 и 8: с помощью коротких тонких тяг — верхний бак 6 и с помощью длинных толстых — средний 7 и нижний 8. Прикрепление (подвеска) среднего и нижнего баков производится введением чек в прорези в тягах, видимых на фигуре (см. внизу слева в баке 8).

Баки загружают чугунными чушками или железной рудой. Таким образом, применяя нагрузку в один, два или три бака, можно иметь переменное давление воды в системе (120, 160 и 200 кг/см²) и отсюда разную мощность пресса (600, 800 и 1000 т). Вода от насосов в цилиндр подводится трубой 9, укрепленной в корпусе цилиндра 1 нарезкой. Деревянные подставки 10 служат, как и выше (фиг. 170), для смягчения ударов при посадке груза аккумулятора на фундамент.

Для ограничения хода аккумулятора вверх служит тяга 12, по которой свободно ходит прикрепленная к верхнему баку лапка 11. Когда лапка 11 дойдет до гайки 13 в верхней части тяги 12, она потянет тягу 12 вверх, а эта последняя поднимет рычаг 14 с грузом 15 также вверх и таким образом поднимет клапан в предохранительном устройстве 16 и даст свободный выход воде из цилиндра или наружу в канализацию или, что лучше, к всасывающим клапанам насоса. Для этой же



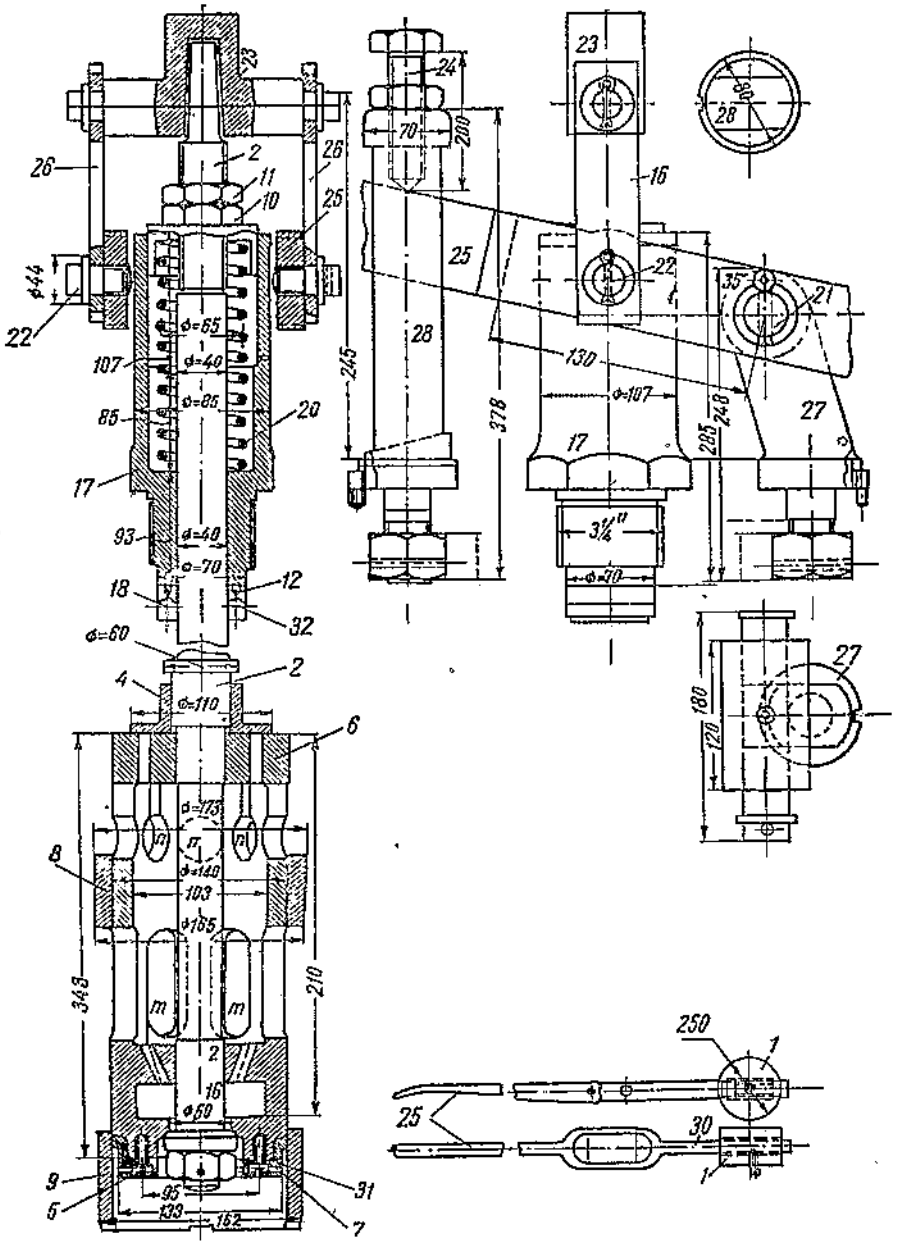
Фиг. 170. Грузовой аккумулятор с постоянной нагрузкой:
а — продольный разрез; b — фундаментная плита



Фиг. 171. Грузовой аккумулятор с переменной нагрузкой в три ступени

цели устраивается еще следующее предохранительное приспособление. Вдоль штока на некоторую глубину просверлена дыра *А* и перпендикулярно к ней другая дыра *Б*. Когда шток аккумулятора вследствие какой-либо порчи описанного выше предохранительного устройства поднимется выше надлежащего места, дыра *Б* дойдет до дыры *В* в стенке цилиндра, и вода из него устремится в предохранительную трубку 22, отчего шток и груз далее подниматься не будут.

Для предупреждения быстрой посадки грузов аккумулятора на фундамент при очень сильном случайном расходе воды, например, при разрыве труб разводящей сети и т. п., обязательно также устройство специального приспособления, обозначенного на фиг. 171



Фиг. 172. Предохранительный клапан против быстрой посадки

цифрами **17, 18, 19** и **20**. Устройство это состоит в следующем. К верхнему баку прикреплена балочка **17** с роликом **18**. При посадке вниз аккумулятора ролик нажимает на рычаг **19**, на противоположном конце которого имеется груз, постоянно стремящийся поднять этот рычаг вверх, и таким образом опускает вниз в цилиндре **20** особый уравновешенный цилиндрический золотник (фиг. 172), в котором

проход для воды *п* сделан суживающимся кверху. Таким образом при надавливании рычага 19 вниз выход воды из аккумулятора плавно, без удара, сокращается, и, наконец, аккумулятор эластично с небольшой скоростью опустится на деревянные подставки 10.

Рычаг 25 (см. фиг. 172), отвечающий на фиг. 171 номеру 19, может вращаться около валика 21, вставленного в укрепленную на верху корпуса предохранителя стойку 27, причем противовесом 1, находящимся на конце рычага справа, его левый, загнутый немного конец всегда поднимается вверх до упорного винта 24, установленного на такой же стойке 28 также на верху корпуса предохранителя. По середине рычага 25 имеется овальное отверстие 120×310 мм, охватывающее с двух сторон цилиндр 17, в котором помещается пружина 20. Цилиндр 17 укреплен также на корпусе предохранителя, причем через него проходит шток 2, связанный внизу с цилиндрическим золотником 6. Пружина 20 всегда поднимает вверх шток 2 вместе с находящейся на его конце траверсой 23, к которой с помощью сережек 26 подвешен рычаг 25. Таким образом и груз 1, и пружина 20 действуют в одном направлении, стремясь поднять вверх левый конец рычага 25. Золотник 6 внутри стального корпуса предохранителя ходит в бронзовых направляющих 8 и 9 и имеет для прохода воды, поступающей от аккумулятора, шесть отверстий *т* овального сечения размерами 35×90 мм и для воды, отходящей в трубопровод, шесть круглых отверстий *п* диаметром 35 мм, в верхней части которых имеются суженные каналы 10×25 мм.

Пока пружина 20 держит золотник 6 в верхнем положении, вода свободно течет из аккумулятора в трубопровод. Как только грузы аккумулятора подойдут к своему нижнему положению, указанный выше ролик (фиг. 171, деталь 18), находящийся на нижнем конце связанной с верхним баком балочки, нажмет на левый конец рычага 25; он потянет с помощью сережек 26 вниз траверсу 23 и нажмет вниз шток 2 с золотником 6. По мере оседания последнего проход для выхода воды из аккумулятора в трубопровод будет все более и более уменьшаться и почти плавно, без удара совершенно закроется. Таким образом грузы свою скорость вниз будут терять постепенно и, наконец, сядут на деревянные подставки довольно эластично, с небольшой сравнительно скоростью.

На фиг. 172 деталь 7 — нажимное кольцо манжеты 31, укрепляемое шурупами 5; 18 — такое же кольцо для манжеты 32.

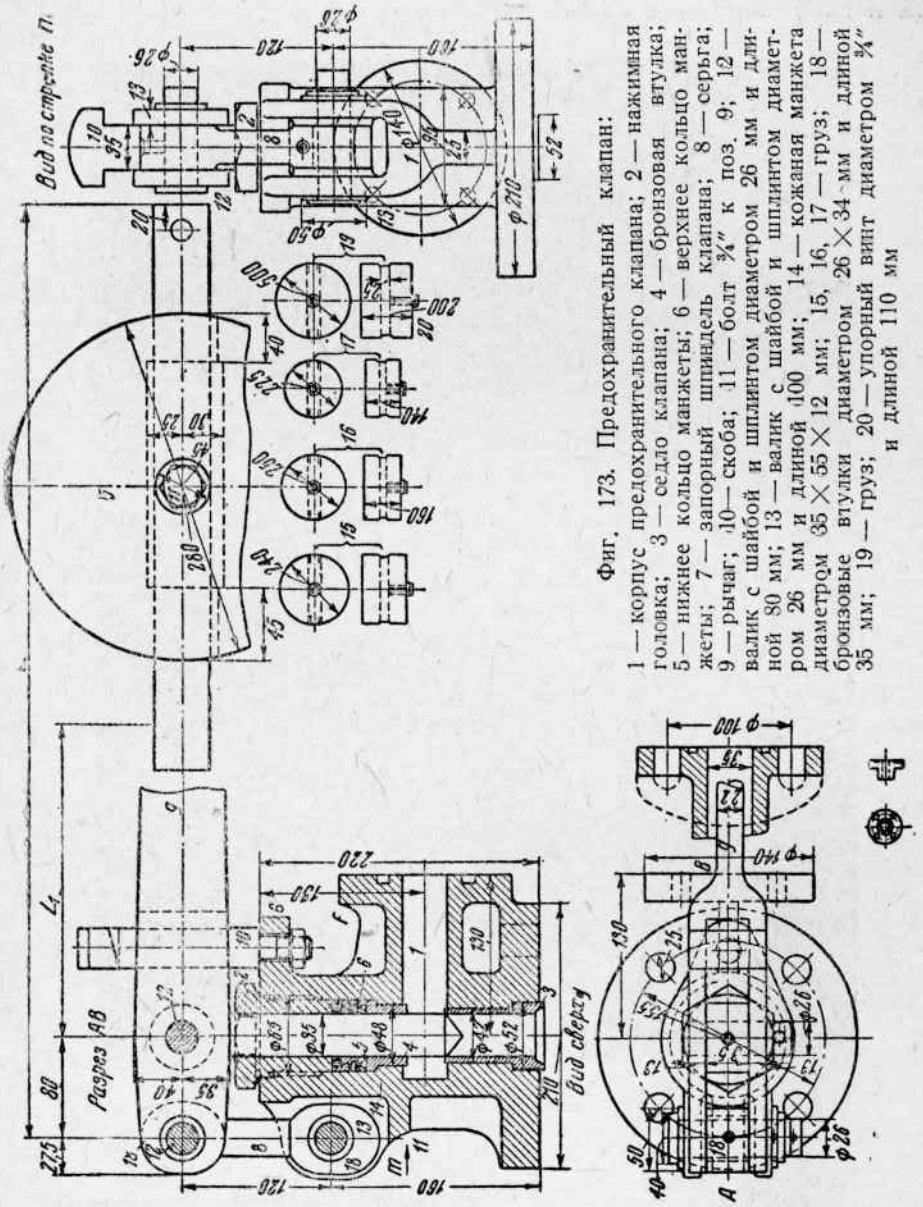
Кроме этих предохранительных устройств на подводящей от насосов воду трубе устанавливают обычный предохранительный клапан, который откроет воде выход наружу или к всасывающим клапанам насосов, в случае, если давление в трубопроводе почему-либо превысит максимально допустимое или когда груз поднимется на предельную высоту.

Такой предохранительный клапан, изображенный на фиг. 173, ставится на тройнике трубы, подводящей воду от насосов в аккумулятор. При нормальной работе, когда давление в сети не превышает допустимого максимального для данной установки, вода через клапан не проходит, но, если давление будет выше допустимого, или груз аккумулятора поднимется выше предельного положения, т. е. пресса работать не будут, то тяга 12 (см. фиг. 171) потянет рычаг 9 клапана с грузом 15 вверх, шпиндель клапана 7 поднимется и вода через образовавшееся отверстие между концом шпинделя 7 и втулкой 3 будет выходить либо наружу, либо, что правильнее, к приемным клапанам насосов.

Общий вид установки большого грузового аккумулятора с постоянной нагрузкой вместимостью в 800 л, работающего при давлении

воды в 250 кг/см², а также его железная направляющая конструкция показаны на фиг. 174.

Такие большие аккумуляторы с объемом воды до 3000 л имеют очень высокий подъем. При установке в низком здании они требуют постройки специальной башни высотой до 20 м и более, большого

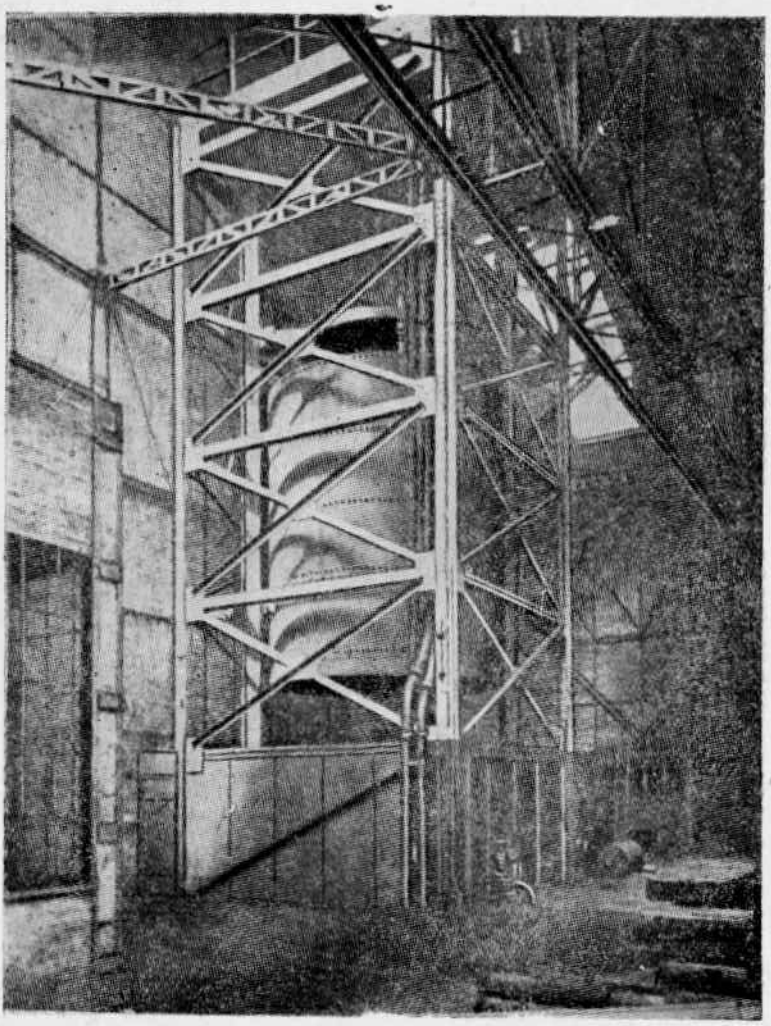


Фиг. 173. Предохранительный клапан:
1 — корпус предохранительного клапана; 2 — нажимная головка; 3 — седло клапана; 4 — бронзовая втулка; 5 — нижнее кольцо манжеты; 6 — верхнее кольцо манжеты; 7 — запорный шпиндель клапана; 8 — серьга; 9 — рычаг; 10 — скоба; 11 — болт ¾" к поз. 9; 12 — валик с шайбой и шплинтом диаметром 26 мм и длиной 80 мм; 13 — валик с шайбой и шплинтом диаметром 26 мм и длиной 100 мм; 14 — кожаная манжета диаметром 35 × 55 × 12 мм; 15, 16, 17 — груз; 18 — бронзовые втулки диаметром 26 × 34 мм и длиной 35 мм; 19 — груз; 20 — упорный винт диаметром ¾" и длиной 110 мм

и дорогого фундамента, почему, несмотря на дешевизну самого агрегата, в общем их установка обходится дорого. Кроме того, грузовые аккумуляторы обладают еще одним крайне неприятным свойством, вредно отзывающимся на исправном состоянии сальниковой набивки, манжет, трубных соединений и самых труб, распределительного устройства и пр., — это толчки при посадке. Когда все пресса работают, груз аккумулятора идет вниз с большой скоростью и, если в это время один или несколько прессов останавливаются, то в результате создается большой силы гидравлический удар, гибельно

действующий на все соединения. В это время давление воды может мгновенно возрастать до двух-трех раз.

Поэтому в установках с грузовыми аккумуляторами, несмотря на самый тщательный монтаж и применение специальных толстых цельнотянутых стальных труб, часто бывают разрывы труб, соединений и тому подобные аварии.



Фиг. 174. Общий вид установки мощного грузового аккумулятора вместимостью 800 л (рабочее давление 200 кг/см²)

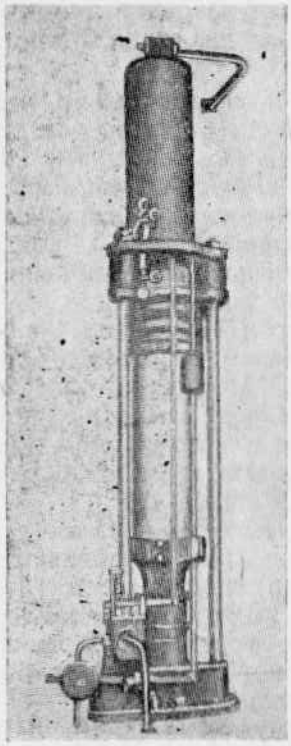
Это заставило конструкторов подумать о замене грузовых аккумуляторов более совершенными аппаратами.

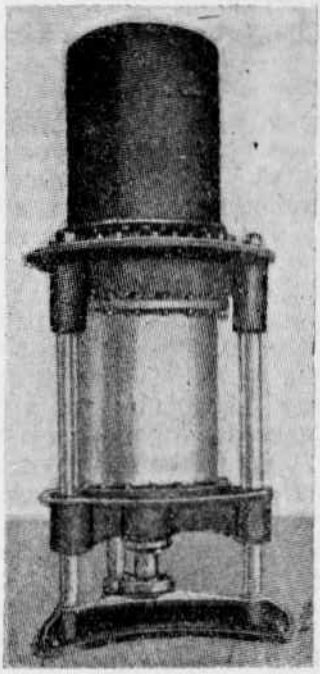
В результате в настоящее время находят все большее распространение аккумуляторы пневматические, в которых тяжелые грузы заменены упругостью сжатого воздуха. Эти аккумуляторы не обладают отмеченными выше недостатками и дают при работе почти постоянное давление, которое может быть равномерно повышено или понижено.

Пневматические аккумуляторы бывают поршневые и беспоршневые.

Аккумуляторы пневматические поршневые

Общий вид таких аккумуляторов дан на фиг. 175. Фиг. 176 представляет разрез поршневого аккумулятора.

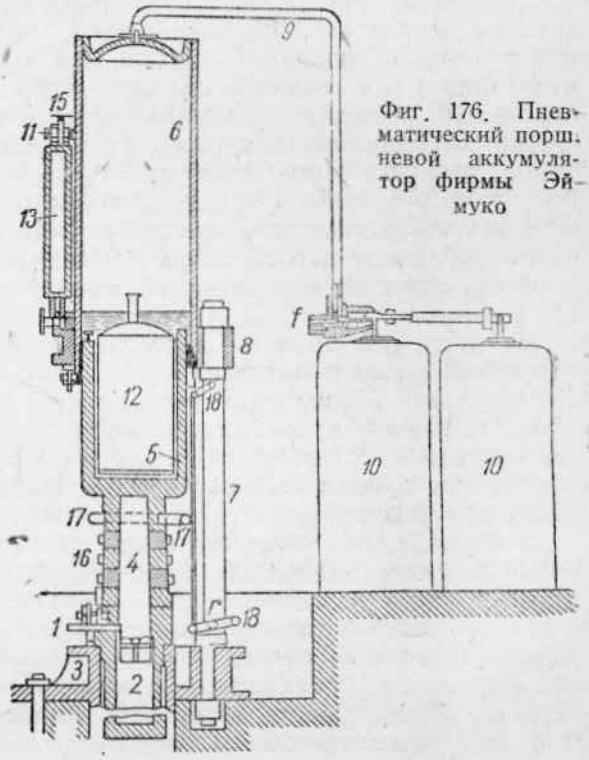




Фиг. 175. Пневматические поршневые аккумуляторы

Он имеет следующее устройство. Вода от нагнетательного насоса по трубе 1 (фиг. 176) поступает в гидравлический цилиндр 2, установленный на фундаментной плите 3. В этом цилиндре ходит стальной шток 4 небольшого диаметра, несущий на себе в верхней части пустотелый поршень большого диаметра 5, который движется внутри большого цилиндра 6, соединенного с цилиндром 2 тремя массивными колоннами 7 и с верхней поперечиной 8.

Цилиндр 6 наполнен сжатым воздухом, давление которого зависит от положения поршня 5. Давление в цилиндре 2 относится к давлению в цилиндре 6, как площадь поршня 5 к площади штока 4.



Фиг. 176. Пневматический поршневой аккумулятор фирмы Эймуко

Если, например площадь 5 относится к площади 4 как 1 : 10, и давление воздуха в цилиндре будет 50 кг/см², то давление воды в цилиндре 2 будет 500 кг/см². Если давлением воды поршень будет поднят еще выше, так что давление воздуха возрастает, то, естественно, увеличится и давление воды. Если объем воздуха будет достаточно велик, то давление его, а следовательно, и давление воды будет оставаться почти постоянным.

Для получения большого объема воздуха и, следовательно, незначительных колебаний в давлении воды, цилиндр 6 соединяют трубкой 9 с несколькими баллонами 10, наполненными воздухом, сжатым в данном случае, как выше сказано, до 50 кг/см². Пусть полный объем всех резервуаров цилиндра 6 и пустотелого поршня 5 равен 11,4 м³. При более высоком положении поршня 5 объем воздуха уменьшится, например, до 10,1 м³, т. е. будет меньше первоначального 11,4 м³ в 1,12 раза. Вследствие этого давление воздуха тогда будет 56 кг/см², а давление воды 560 кг/см². Если кран 11 закрыть, то объем воздуха в цилиндре 6 при верхнем положении поршня 5 будет в 2½ раза меньше первоначального, а давление воздуха в 2½ раза больше первоначального, т. е. будет равно 125 кг/см², почему давление воды будет 1250 кг/см². Таким образом в воздушном аккумуляторе весьма просто и без всяких толчков достигается какое угодно давление простой регулировкой с помощью крана 11.

Для устранения протока воздуха, чего при высоких давлениях избежать весьма затруднительно, набивку в сальниках составляют из обыкновенного кожаного воротника, залитого сверху слоем глицерина или масла, который не дает проникнуть воздуху из цилиндра 6. С той же целью, а также для смазки кожи в пустотелый поршень 5 вставляют тонкий железный цилиндр 12, причем все пространство между ним и поршнем заполняют также маслом.

Для пополнения потерь масла и воздуха служит цилиндр 13, сообщающийся краном 14 с воздушным цилиндром и снабженный трубкой и клапаном 15, посредством которых происходит накачивание воздуха и наливание масла. При опускании поршень 5 для смягчения удара садится на деревянные, состоящие из трех частей колоды 16, стянутые железными полосами.

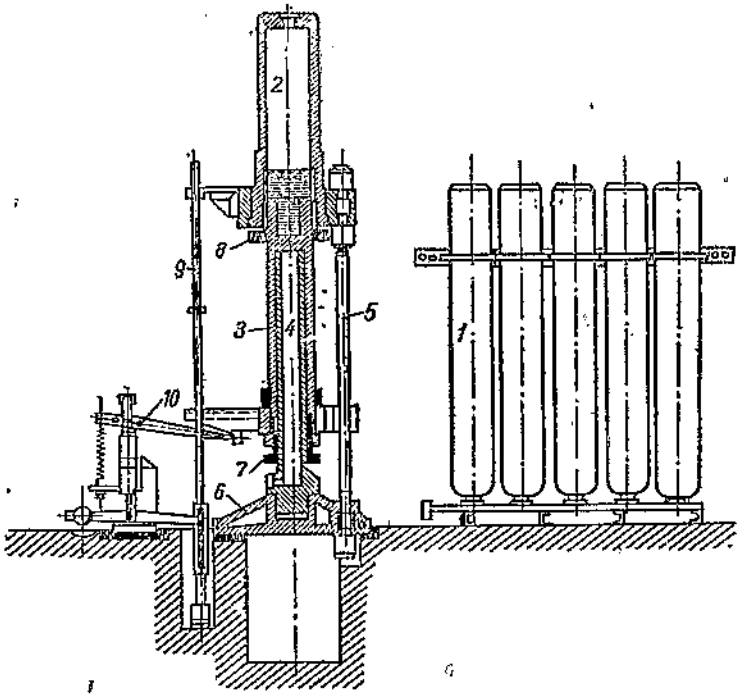
Для ограничения хода вверх, так же как и у грузовых аккумуляторов, устанавливается приспособление, состоящее из тяги, по которой скользит скоба 17. При верхнем положении поршня она тянет тягу вверх, поворачивает рычаги 18, соединенные с пусковым приспособлением насоса, почему подача воды останавливается. Когда поршень сядет на определенную высоту вниз, то насос опять пускают в работу.

На фиг. 177 показан аккумулятор, несколько отличающийся от описанной выше конструкции.

Отмеченная выше трудность держать манжеты плотными, присутствие трущихся и изнашивающихся частей большого диаметра заставили отойти от этого типа аккумулятора. В настоящее время везде распространены пневматические аккумуляторы другого типа, а именно, беспоршневые.

В приведенных ниже фигурах, где изображены такие аккумуляторы, не видно в водяном цилиндре никаких подвижных частей, а также и часто изнашивающихся манжет; видна полная автоматичность работы установки. Ремонт дистрибуторов и прессов может производиться без спуска воды из аккумулятора. Указатель (иногда, что еще лучше, соединяемый с сигнальными лампочками) всегда показывает уровень воды в аппарате. Таким образом современная конструкция пневматического беспоршневого аккумулятора является

весьма надежной, могущей долго действовать без всякого ремонта, значительно более совершенной, чем аккумуляторы грузовые и пневматические поршневые.



Фиг. 177. Воздушно-поршневый аккумулятор Вагнера: 1 — воздушные баллоны; 2 — воздушный цилиндр; 3 — плунжер аккумулятора; 4 — полая скалка, подающая воду внутрь плунжера 3; 5 — колонны, поддерживающие цилиндр 2; 6 — фундаментная плита; 7 — сальник; 8 — сальник; 9 — тяга ограничителя хода плунжера 3; 10 — прибор-ограничитель хода плунжера 3

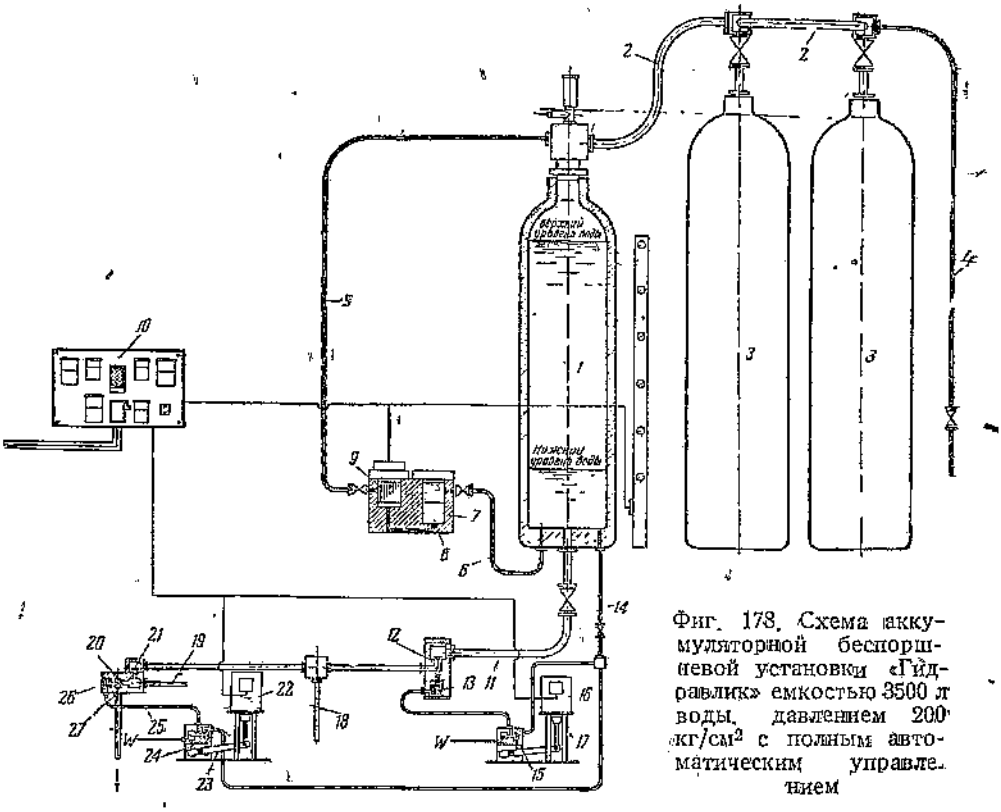
В случае если в этих аппаратах вместо воды применяют специальную эмульсию с маслом, то преимущество этих аккумуляторов еще более вырастает, так как эмульсия не дает ржавчины, менее проникает в разные соединения труб, а также смазывает части насоса, манжеты и т. п.

Аккумуляторы пневматические беспоршневые

На фиг. 178 показана схема аккумуляторной установки рабочей емкостью 3500 л (или полной 5000 л) воды давлением в 200 кг/см² с полным автоматическим электрическим управлением. Она состоит из одного водяного **1** и двух воздушных баллонов **3** объемом 50 м³. Работает установка следующим образом. Водяной баллон **1** соединен трубопроводом **2** с воздушными баллонами **3**, куда периодически, по мере надобности, подается от компрессора воздух по трубе **4**. От верхней и нижней частей баллона **1** трубки **5** и **6** подходят к автоматическому распределителю **7**, в котором внизу налита ртуть **8**. Когда уровень воды дойдет до наивысшего положения, давление воды и воздуха по трубке **6** с правой стороны, поступающей в распределитель **7**, будет более высоким, чем давление одного воздуха, поступающего по трубке **5** с левой стороны, и потому ртуть будет выдавлена из правой части аппарата **7** в левую.

Этим будет замкнут в левой части распределителя 7 коротким контактом проходящий через ртуть ток, который автоматически выключит на щитке 10 подачу тока к электромагниту 22. При понижении уровня воды в баллоне 1 ртуть в левой камере также понизится, короткий контакт разомкнет ток, и тем самым автоматически вновь включится в работу электромагнит 22.

Когда вода в баллоне 1 при работе прессов понизится до нижнего уровня, ртуть разомкнет самый длинный контакт, подача тока ко второму соленоиду на щитке 10 прекратится, и последний автоматически выключит подачу тока к электромагниту 16. При поднятии уровня воды он снова включится.



Фиг. 178. Схема аккумуляторной беспоршневой установки «Гидравлик» емкостью 3500 л воды, давлением 200 кг/см² с полным автоматическим управлением

По мере включения и выключения различной длины контактов 9 будут зажигаться и тухнуть установленные рядом с баллоном 1 на особом щитке сигнальные лампочки, которые очевидно будут этим показывать уровень воды в баллоне 1. Предельные уровни обычно указываются красными лампочками, близкий подход к ним — зелеными, остальные лампочки обычные.

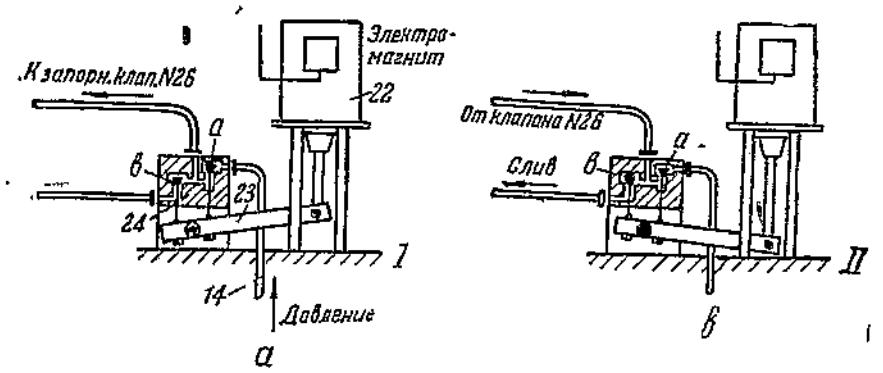
Вода из аккумулятора по трубам 11 и 18 идет к прессам, проходя через управляемый электромагнитом 16 запорный клапан 12. Когда воды в баллоне 1 будет достаточное количество, то клапан 13 снизу поднимается поступающей по трубе 14 через клапан 15 водой, и проход для подачи воды из аккумулятора к прессу свободен. При этом (фиг. 179) правый клапанчик *a* в распределительном аппарате 15 электромагнитом 16 поднят кверху. Но лишь только уровень воды, понижаясь, дойдет до определенного предела, ток выключится, рычаг 17 опустится, правый клапанчик *a* распределительного аппарата 15 закроется, откроется левый *b*; поступления воды под поршень 13 теперь уже не будет, и, наоборот, вследствие открытия ле-

вого клапанчика *b* в аппарате 15 она уйдет из-под поршня 13 в отводящую трубу *w*, клапан 12 сядет и прекратит подачу воды из аккумулятора к прессу. Опасность опорожнения водяного баллона и проникновения воздуха в трубопровод и пресса будет таким образом предотвращена.

При попадании воздуха в трубопровод происходит прорыв соединений, скорости прохода воздуха через клапаны дистрибуторов будут во много раз больше, чем воды, отсюда плунжеры цилиндров получают громадные скорости, и прессу грозит серьезная опасность разноса. Поэтому конструкция аппаратов, контролирующих работу пневматических беспоршневых аккумуляторов, должна быть надежна, проста, а обслуживание аккумуляторной установки должно быть поручено высококвалифицированным, хорошо подготовленным для этого и знающим установку и ее работу специалистам.

Трубка 14 проведена также к управляемому электромагнитом 22 распределительному аппарату 24 с двумя клапанчиками; этот аппарат в свою очередь управляет запорным автоматом 20. Вода от насосов поступает по трубе 19, поднимает обратный клапан 21 и оттуда идет к прессу или в аккумулятор. Но как только уровень воды в баллоне дойдет до высшего положения, т. е. давление в нем достигнет максимума, прохождение тока в электромагните 22 прекратится. Соленоид электромагнита 22 и рычаг 23 опустятся, правый клапанчик *a* аппарата 24 сядет в свое гнездо, наоборот, левый клапанчик *b* откроется, выпустит по трубе *w* из трубы 25 воду, подача воды по трубе 25 к плунжеру 26, действующему на запорный клапан 20, прекратится, давлением поступающей от насосов воды он откроется, клапан 21 сядет в гнездо, и насосы будут работать вхолостую, подавая воду по трубе 27 к своим всасывающим клапанам.

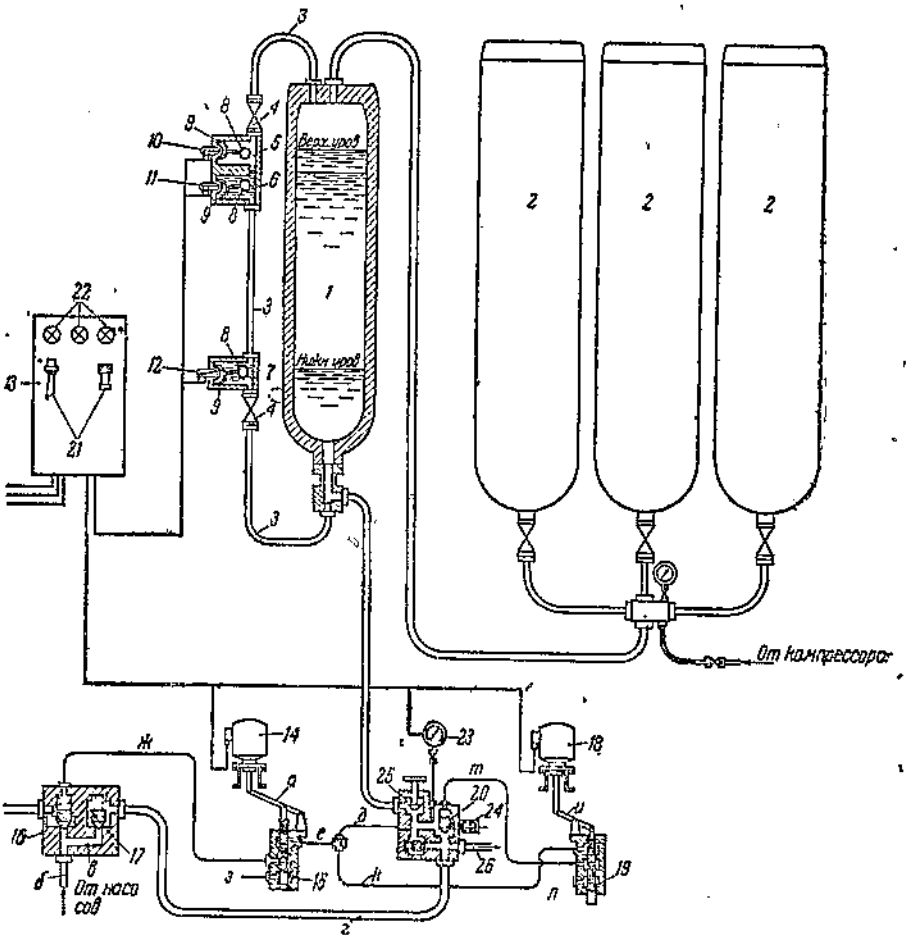
На фиг. 179 отдельно изображен распределительный аппарат 24 с электромагнитом 22 в двух положениях: *a* — когда магнит втягивает соленоид и поднимает рычаг 23 и *b* — когда этот рычаг опущен и ток к электромагниту выключен. Аппарат 15 с электромагнитом 16 имеет абсолютно такое же устройство и так же работает.



Фиг. 179. Автоматический, регулирующий работу беспоршневого пневматического аккумулятора «Гидравлик» аппарат, управляемый соленоидом:
положение I — магнит включен, клапан a открыт, клапан b закрыт;
положение II — магнит выключен, клапан a закрыт и клапан b открыт

На фиг. 180 представлена схема полной установки пневматического беспоршневого аккумулятора другого типа. Установка эта состоит из следующих частей.

Водяной баллон 1 соединен трубой через крестовину с воздушными баллонами 2. К этой же крестовине подведена трубка от компрессора. Каждый из баллонов, равно как и компрессор, может отделяться с помощью специальных запорных клапанов. На крестовине установлен контрольный манометр.



Фиг. 180. Схема установки пневматического беспоршневого аккумулятора Шлемана

Трубой 3 через запорный вентиль 4 к верхней части водяного баллона 1 присоединены аппараты 5, 6 и 7 автоматического управления аккумуляторной установкой, после которых поставлен внизу запорный вентиль 4, и через него той же трубой 3 эти аппараты соединены с нижней частью того же водяного баллона 1. Таким образом в баллоне 1, в трубе 3 и в аппаратах 5, 6 и 7 вода стоит на одном и том же уровне. Верхний аппарат 5 служит для постепенного выключения насосов при достижении водой в баллоне 1 наивысшего уровня. При опускании уровня воды несколько ниже наивысшего второй аппарат 6 также постепенно включает снова один за другим насосы в работу. При достижении водой нижнего уровня в предупреждение возможности ухода из баллона 1 всей воды и попадания воздуха в трубопровод и в пресса нижний аппарат 7 закрывает обратный клапан 20.

Аппараты управления имеют следующее устройство. В каждой камере на конце поворачивающегося около оси рычага насажен по-

плавок 8, который в камере, наполненной водой, всплывает так, как то показано в аппаратах 6 и 7, и опускается, как то показано в аппарате 5, в опорожненной камере. На противоположной стороне рычагов насажены дуговые магниты 9, которые, становясь в то или другое положение, притягивают рычажки ртутных выключателей 10, 11 и 12 и там замыкают и размыкают на щитке 13 ток, идущий к электромагнитам 14 и 18, из них первый управляется аппаратами 5 и 6, выключающими или включающими насосы, а второй — аппаратом 7. Управление это работает следующим образом.

Когда баллон 1 водой не наполнен до верхнего уровня и, значит, насосы включены аппаратом 6, ток со щитка подается в электромагнит 14, вследствие чего соленоид будет электромагнитом подтянут вверх, как это показано на фигуре, и рычаг *а* подымет вверх золотник 15. Тогда подаваемая насосом по трубе *б* вода будет проходить по каналу *в* через простой обратный клапан 17 (клапан 16, как увидим далее, будет в это время закрыт) и по трубе *г* будет подаваться в трубопровод 26 к прессам; если они не работают в это время или расход прессами воды будет небольшой, то она через управляемый обратный клапан 20 и главный запорный клапан 25, открываемый в начале работы установки, будет поступать в баллон 1 аккумулятора; если расход воды большой, так что подаваемой насосами воды недостаточно, то разница будет подаваться из аккумулятора через главный клапан 25 и обратный 20 в трубопровод к прессам. Вместе с тем по трубкам *д* и *е* вода пойдет через канал в золотнике 15 и по трубке *ж* давление будет передаваться на обратный клапан 16. Так как давление на клапан сверху больше, чем снизу, то в этом случае он будет, как это указано выше, закрыт и, значит, вода от насоса будет поступать к прессам или в аккумулятор.

При достижении в баллоне 1 водой верхнего уровня аппаратом 5 ток в ртутном выключателе будет разомкнут и подаваться к электромагниту 14 не будет. Тогда соленоид упадет вниз, рычаг *а* опустит вниз зольник 15, отчего вода по трубке *е* в трубку *ж* поступать не будет; наоборот, вода из трубки *ж* вытечет по каналу золотника 15 через трубку *з*, и давления на клапан 16 не будет. Ясно, что в этом случае воде, поступающей от насоса, пройти через клапан 17 труднее, чем через клапан 16, почему она будет поступать во всасывающую камеру насоса.

Совершенно понятно, что узлы 14—15—16 должны быть установлены для каждого насоса. Приведенная на фиг. 180 схема дана для установки с одним насосом.

Рассмотрим работу аппарата 7. Пока вода в аккумуляторе не дошла до нижнего уровня, он был включен, соленоид его был подтянут вверх, рычаг *и* опускал золотник 19 вниз, как то показано на фигуре, отчего вода, поступающая по трубкам *д* и *к*, дальше золотника 19 проходить не могла; давления на обратный клапан 20 не было, ибо пространство над ним соединено трубкой *м*, каналом в золотнике 19 и трубкой *л* с атмосферой. Когда же аппарат 7 подачу тока к электромагниту 18 прекратит, соленоид падает вниз и поднимает рычагом *и* золотник 19 вверх; тогда вода, подаваемая трубкой *к*, пройдет по каналу золотника вниз и по трубке *м* даст на клапан 20 давление сверху, клапан сядет вниз и тем прекратит дальнейший расход воды из аккумулятора. Опасность опорожнения водяного баллона и проникновения воздуха в трубопровод пресса со всеми связанными с этим указанными выше неприятными последствиями будет таким образом предотвращена.

Для предупреждения о подходе уровня воды к верхнему или нижнему пределу установка снабжается световой и звуковой сигнализа-

цией. Для этого на щитке 13 имеются три лампочки 22, сирена и гудок 21. Из лампочек одна зеленая посредине всегда горит и показывает, что ток есть, а крайние — красные — показывают, что уровень воды приближается к предельным и потому требуется внимание, чтобы во-время выключить насосы или аккумулятор, если бы приборы почему-либо перестали работать. То же показывают сирена и гудок.

Манометр 23 показывает давление воды.

Сравнение приведенных выше описаний управления аккумуляторных установок показывает преимущество простой электрической системы управления типа фиг. 178; смешанная электрическо-пневматическая аппаратура установок системы фиг. 180 весьма сложна и потому легче может расстраиваться ее точная работа.

Для ориентировки читателя в вопросе о применяемых на практике размерах баллонов и занимаемой аккумуляторной установкой площади ниже в табл. 23 дана применительно к фиг. 181 характеристика аккумуляторов для разной рабочей или полезной емкости водяных баллонов.

Таблица 23

Характеристика аккумуляторов
(к фиг. 181)

№ по пор.	Рабочая емкость водяного баллона, л	Давление воды кг/см²	Число воздушных баллонов	Размеры, мм						Вес т
				a	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*	
1	10 000	240	8	7500	8000	18 000	1550	1550	2700	—
2	7 500	220	28	—	—	—	—	—	—	—
3	7 000	220	22	5900	5600	19 000	895	1570	2000	—
4	5 000	300	16	6000	5900	15 000	925	1650	2000	225
5	4 000	240	13	5900	6800	9 500	895	1065	2000	148
6	4 000	220	13	6300	6700	9 500	895	1065	2000	140
7	3 600	300	12	5900	5300	15 700	925	1570	1600	175
8	3 600	200	12	6000	6500	9 500	895	1065	2000	128
9	3 300	300	11	6350	4500	14 250	925	1570	1600	—
10	3 000	300	9	5900	8600	11 900	925	1065	1600	—
11	1 700	300	6	6000	5800	11 900	925	925	1600	86

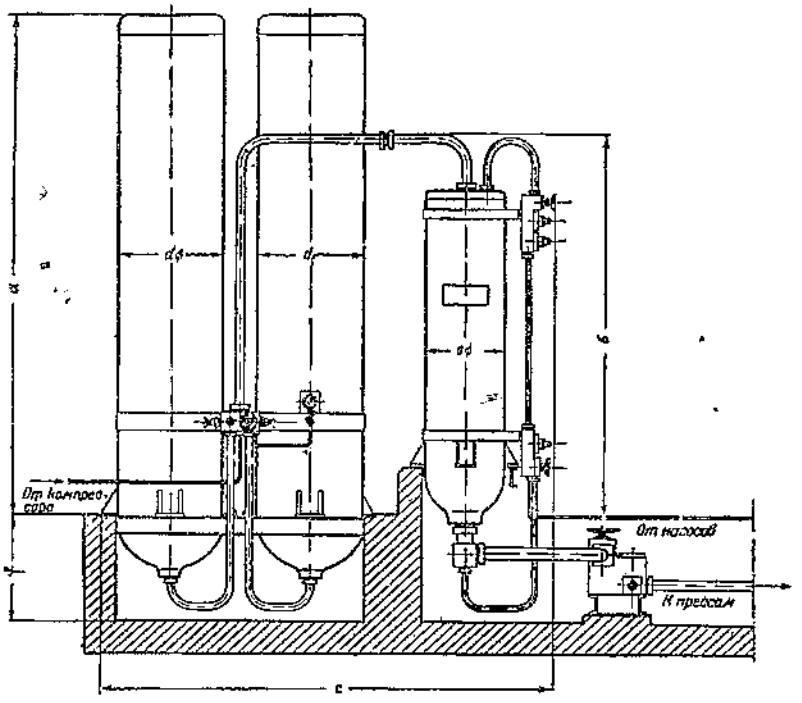
В табл. 23а дана характеристика воздушных компрессоров, устанавливаемых при пневматических аккумуляторах.

Таблица 23а

Характеристика воздушных компрессоров при пневматических аккумуляторах

№ по пор.	Рабочая емкость водяного баллона л	Давление воды кг/см²	Компрессор			Двигатель		Вес т
			производительность м³/час	давление воздуха кг/см²	число оборотов вала в мин.	мощность л. с.	число оборотов в мин.	
1	10 000	240	2 по 50	240	250	2 по 25	950	2 по 2,67
2	7 500	220	2 по 30	220	250	2 по 20	950	2 по 2,05
3	7 000	220	2 по 30	220	250	2 по 20	950	2 по 2,07
4	5 000	300	50	300	250	26	950	2,65
5	4 000	240	50	240	270	26	950	2,65
6	4 000	220	50	220	270	26	950	2,65
7	3 600	300	50	300	270	26	950	2,65
8	3 600	200	50	200	270	26	950	2,65
9	1 700	300	25	300	320	16	1000	1,710
10	1 700	220	25	220	320	16	1000	1,710

Рассмотрение табл. 23 и сравнение приведенных в ней размеров с фиг. 181 и 182 приводит к заключению, что в настоящее время применение большого диаметра и длинных до 10,5 м баллонов оставлено; современные аккумуляторные установки осуществляются большим числом небольших, сравнительно легких и более дешевых баллонов. Баллоны эти изготовлялись ранее отковкой из одного куска стали. Операция эта дорогая и длинная, например, отковка [1] баллона диаметром 1720 мм с толщиной стенки 115 мм, общей длиной 9000 мм производилась из слитка диаметром 1650 мм, длиной 3000 мм и весом 59,4 т.



Фиг. 181. Типовой чертеж пневматического беспоршневого аккумулятора Шлемана

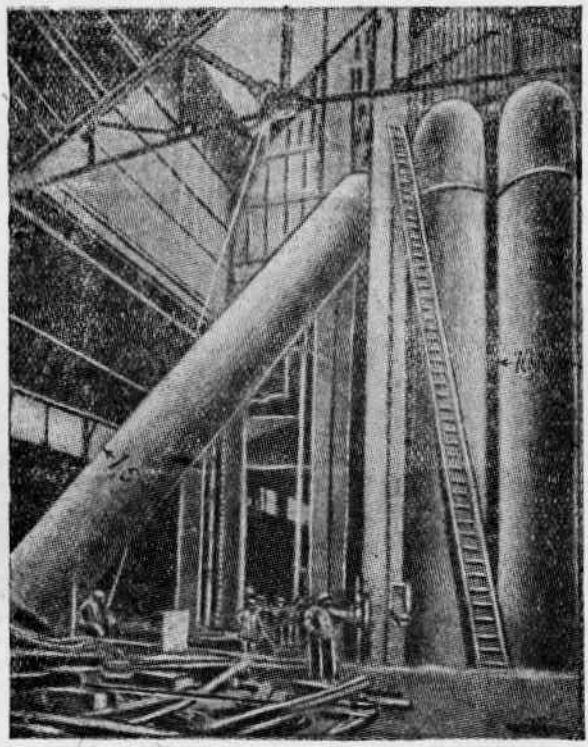
Такой слиток нагревался в течение 232½ часа, затем осаживался до длины 2200 мм и прошивался иглой диаметром 530—550 мм. Дыра эта далее раздавалась под прессом до диаметра 1020 мм. Заготовку вновь нагревали в течение 28 час.; она охлаждалась с печью в течение 18 час. и затем в яме 218 час. После охлаждения заготовка вновь нагревалась за 85 час. и раздавалась под прессом на оправке до диаметра 1700 мм. Полученная толстостенная труба подвергалась тщательному двукратному отжигу в течение 81 + 77 = 158 час. и охлаждалась с печью в течение 52 час. Таким образом одни нагревы, отжиги и охлаждения задалживали 791½ час., что равнялось 33 суткам. После этого заготовку обтачивали на токарных станках изнутри и снаружи, концы ее нагревались и изгибались в виде донышка и т. д.

Сейчас все операции получения заготовки до ее обточки произ-

[1] Подробно описание процесса отковки и всей дальнейшей обработки баллона дано в книге П. С. Истомина, Прессование металлов, 1935, стр. 390—396.

водятся с одного нагрева прокаткой на специальном стане Рэкнера [1], что, конечно, значительно удешевило производство баллонов и повело к тому, что сейчас грузовых аккумуляторов не строят и не устанавливают совершенно. Они остались и работают лишь в старых установках. Пневматический беспоршневой аккумулятор завоевал всюду преимущественное положение.

Таким образом в Европе заготовка для баллонов сейчас катается и баллон получается не цельнокованый, а цельнокатаный из одного куска.



Фиг. 182. Монтаж воздушных баллонов пневматического беспоршневого аккумулятора «Гидравлик» емкостью 8000 л, давлением 230 кг/см²

В США заводы А. О. Смит в Мильвоки и Бабкок-Вилькокс строят эти баллоны не цельными, а многослойными, сваренными из загнутых стальных листов.

Такой баллон может разрушаться только постепенно и, значит не повлечет за собой эффекта взрыва. Определение его прочности поддается более надежному расчету, а это позволяет облегчить его вес на 25%. Самый метод работы недорогой. Все это, вместе взятое, удешевляет еще более стоимость аккумуляторной установки. Такого типа аккумуляторы имеются на наших заводах и работают исправно, не вызывая никаких нареканий.

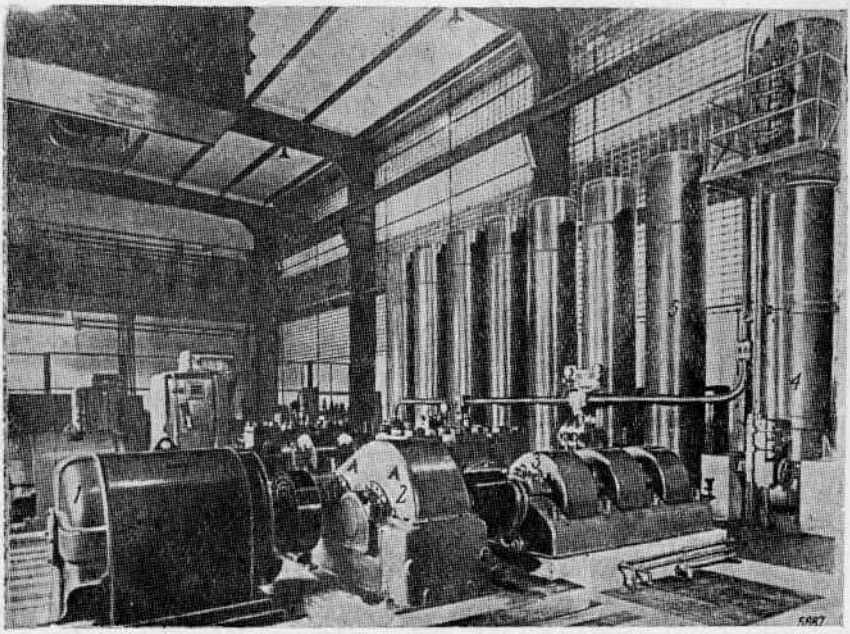
На фиг. 183 показана мощная установка с пневматическим беспоршневым аккумулятором, с насосами, баллонами и прочей аппаратурой.

---

[1] Описание этого стана и работы на нем входит в программу курса «Обработка давлением», читаемого автором в Московском институте цветных металлов. См. также журнал «Советская металлургия», 1934, № 7, стр. 208—210 и Stahl und Eisen, 1933, 26. Okt., S. 1101—1105.

Определенные преимущества пневматических беспоршневых аккумуляторов перед другими системами заключаются в том, что они:

1) дают эластичное, плавное изменение давления воды, без всяких толчков, отчего сохраняются трубопроводы и соединения, дистрибуторы и пресса;



Фиг. 183. Общий вид пневматической беспоршневой аккумуляторной установки Шлемана

2) позволяют работать с любым давлением для получения оптимальной скорости прессования;

3) занимают небольшое место;

4) требуют фундамента значительно меньших размеров;

5) могут в зависимости от места устанавливаться и в вертикальном и в горизонтальном направлениях;

6) не имеют никаких трущихся частей, подвергающихся быстро износу;

7) дают возможность в случае развития производства свободно добавить и присоединить к существующей установке любое число водяных и воздушных баллонов, что представляет некоторые затруднения при установке аккумуляторов грузовых;

8) имеют указатель, постоянно сигнализирующий об уровне воды в аккумуляторе.

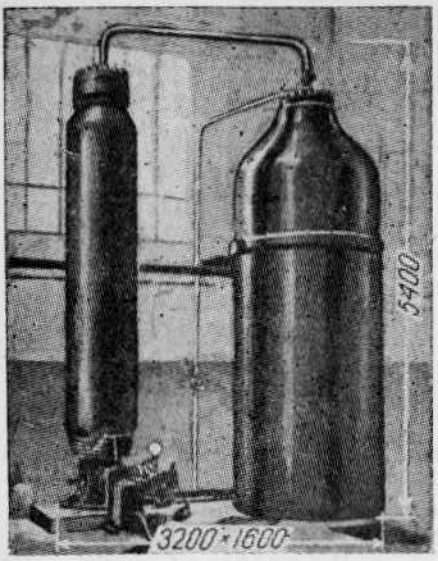
Недостатки пневматических беспоршневых аккумуляторов:

1) при малых объемах воздушных баллонов давление значительно падает к концу прессования;

2) вследствие этого приходится применять воздушные баллоны значительных объемов, т. е. рассчитывать их с большим запасом;

3) это влечет за собой удорожание их, так что аппаратура в этом случае обходится в два-три раза дороже, чем при простых грузовых аккумуляторах;

4) рабочее давление воды ограничено пределом 200—300 кг/см²; с дальнейшим увеличением давления стоимость установки растет весьма быстро.



Фиг. 184. Общий вид установки и размеры пневматического, беспоршневого аккумулятора «Гидравлик» емкостью 800 л воды, давлением 200 кг/см²

Несмотря, однако, на эти недостатки, преимущества пневматических аккумуляторов настолько велики, что за последнее время они очень быстро входят в заводскую практику.

Насколько меньшие площади и объем в мастерской занимают аккумуляторы пневматические по сравнению с грузовыми одинакового с ними объема и давления, видно из следующего: грузовой аккумулятор, изображенный на фиг. 174, вместимостью 800 л, при давлении 200 кг/см², занимает площадь $6 \times 6 = 36$ м² при высоте 15,2 м, т. е. занимает объем 547,2 м³.

В то же время пневматический беспоршневой аккумулятор (фиг. 184) той же емкости и давления занимает площадь $3{,}2 \times 1{,}6 = 5{,}12$ м², т. е. в 7 раз меньшую, и объем, равный 27,65 м³, т. е. в 20 раз меньший.

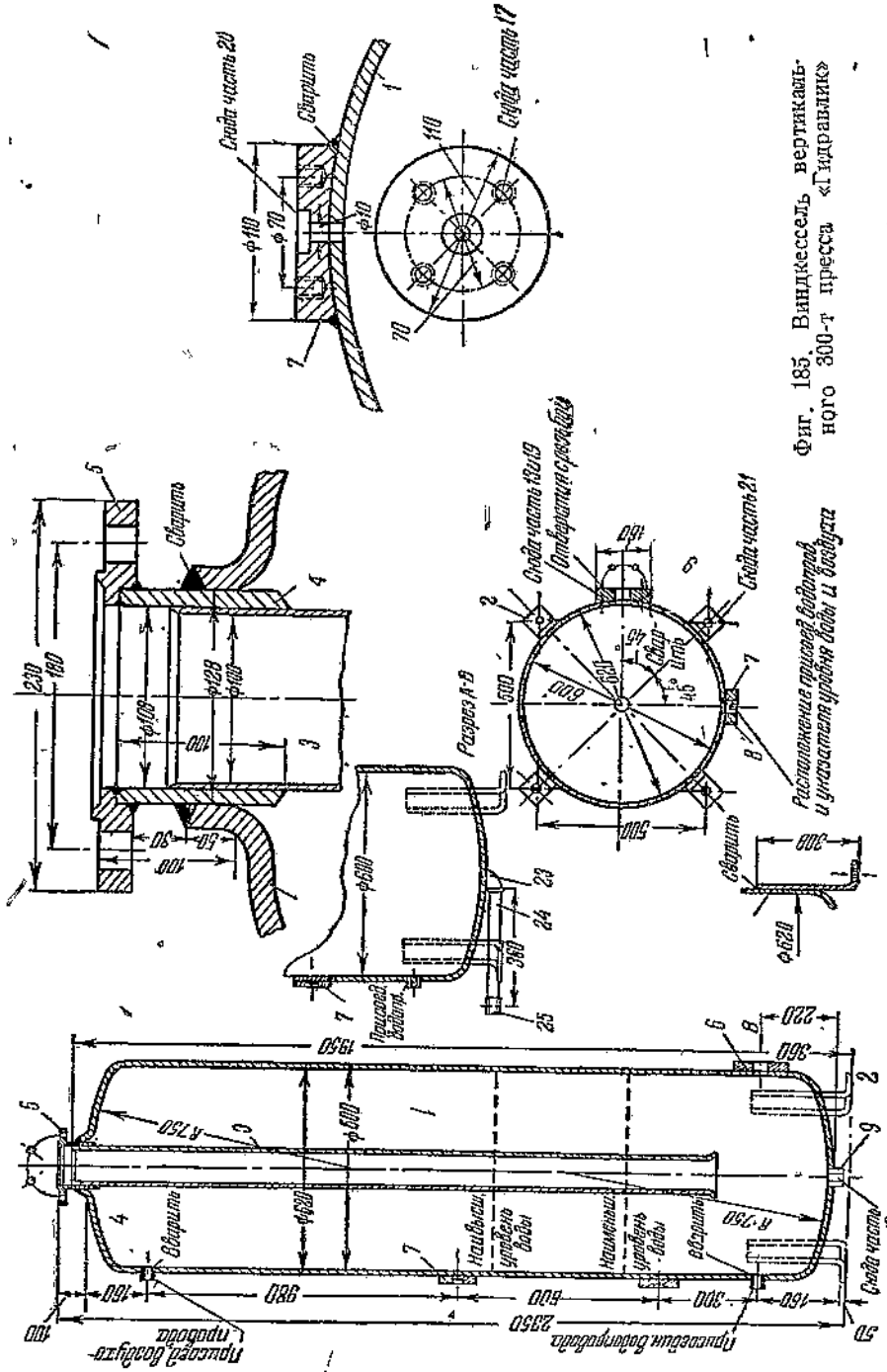
Аккумуляторы низкого давления

Виндкессель. Устройство аккумулятора — воздушного баллона, в который поступает при обратном ходе вода из главного цилиндра пресса, доводя в нем давление до 5—8—10—15 (редко до 20) кг/см², — чрезвычайно просто. На фиг. 185 изображен такой воздушный резервуар, так называемый виндкессель, исполняющий роль аккумулятора низкого давления при вертикальном 300-т прессе типа фиг. 150.

Он состоит из железного цилиндра **1** наружным диаметром 620 мм и длиной 2200 мм с толщиной стенок 10 мм и донышек 14 мм. К этому цилиндру внизу приварены четыре лапки **2**, которыми он с помощью фундаментных болтов диаметром ⅞″ устанавливается на фундаменте. Внутри баллона вставлена труба **3**, соединенная с коротким штуцером **4**, который вварен в верхнее донышко баллона. К верхнему концу этого штуцера приварен фланец **5** с отверстиями диаметром 22 мм для болтов. В нижней части баллона приварен фланец **6**, к которому с помощью шести шпилек с гайками и уплотняющего дерматинового кольца присоединяется труба, идущая к предохранительным клапанам, а также два фланца **7**, к которым присоединяется с помощью восьми шпилек с гайками диаметром ½″ указатель **10** уровня воды в баллоне и манометр и два штуцера с газовой нарезкой ⅝″. К штуцерам присоединяется внизу водоподводящая труба, позволяющая в случае нужды добавить требуемое количество воды в баллон, а вверху воздухопровод. В донышке вварен штуцер **9** с наружной 1″ газовой нарезкой для присоединения кольца и трубки с муфтой для спускного крана. К фланцу **5** посредством шести болтов с гайками диаметром ¾″ и прокладочного кожаного кольца присоединяется труба, идущая к автоматическому клапану на рабочем цилиндре прямого хода.

Собственно аккумуляторы низкого давления. От аккумуляторов низкого давления, или воздушных резервуаров — виндкесселей, сле-

дует отличать аккумуляторы низкого давления в собственном смысле этого слова. Последние применяют для той же цели — производства холостых ходов пресса водой низкого давления и, следовательно, для экономии расхода воды высокого давления; изготовляют их



Фиг. 185. Виндкессель вертикального 300-т пресса «Гидравлик»

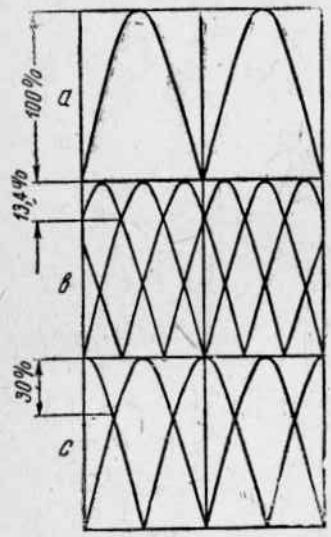
обычно для давлений от 10 до 50 кг/см². В отличие от виндкесселей, снабженных очень простой аппаратурой в виде манометра, обратного клапана и предохранительных клапанов, они имеют при себе всю аппаратуру, присущую аккумуляторам высокого давления (маномет-

ры, насосы низкого давления, воздушные компрессоры, сливные баки, отдельные трубопроводы и т. п.).

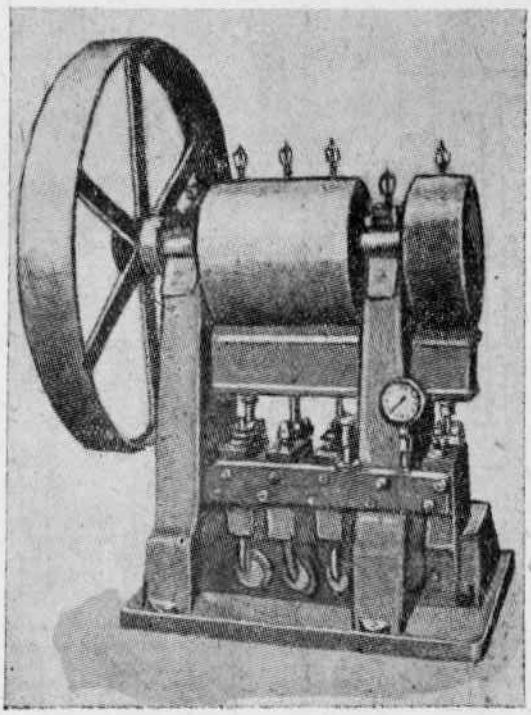
Эксплоатация и устройство таких аккумуляторов обходится дороже, чем первых — простых воздушных резервуаров. Их и применяют лишь в том случае, когда почему-либо нельзя установить первых. Для новых установок следует всегда применять первые устройства, как более простые и дешевые.

7. НАСОСЫ

Для питания прессов водой высокого давления непосредственно или при наличии аккумуляторов применяют солидно сконструированные горизонтальные или вертикальные, обычно трехплунжерные насосы [1], приводимые от трансмиссии или непосредственно от электромоторов. Применение такого типа насосов способствует более равномерной подаче воды, уменьшает в трубопроводе и в прессе гидравлические толчки и дает вообще более спокойную и надежную работу установки. С этой же целью клапаны у насосов делают большого размера, но с небольшим подъемом.



Фиг. 186. Изменение давления жидкости при работе насосов разных типов:
a — два цилиндра с кривошипами под углом 180°;
b — три цилиндра с кривошипами под углом 120°;
c — четыре цилиндра с кривошипами под углом 90°



Фиг. 187. Вертикальный трехплунжерный насос

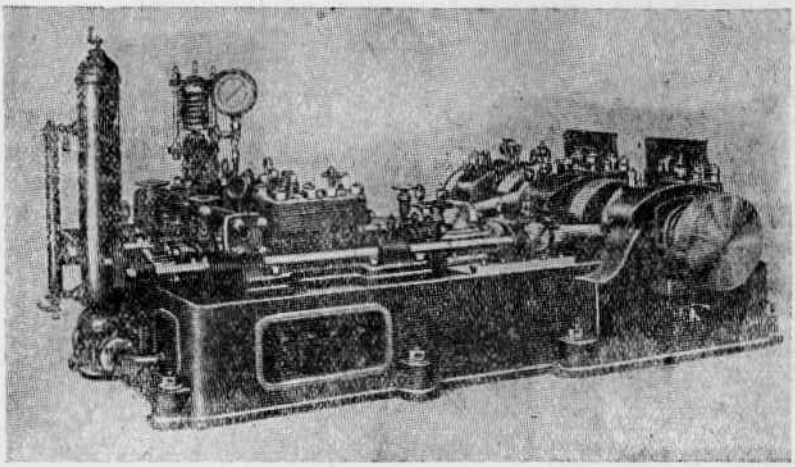
Обычно плунжеры (скалки) насосов изготовляют при работе с маслом из стали, при работе с водой — из бронзы или нержавеющей стали; цилиндры — стальные литые или из фосфористой бронзы; при более высоких давлениях — стальные кованые; клапаны — из фосфористой бронзы или стали. Уплотнение около скалок теперь почти всегда делают не с помощью кожаных манжет, а с помощью металлической набивки.

На фиг. 187 изображен трехплунжерный вертикальный приводной

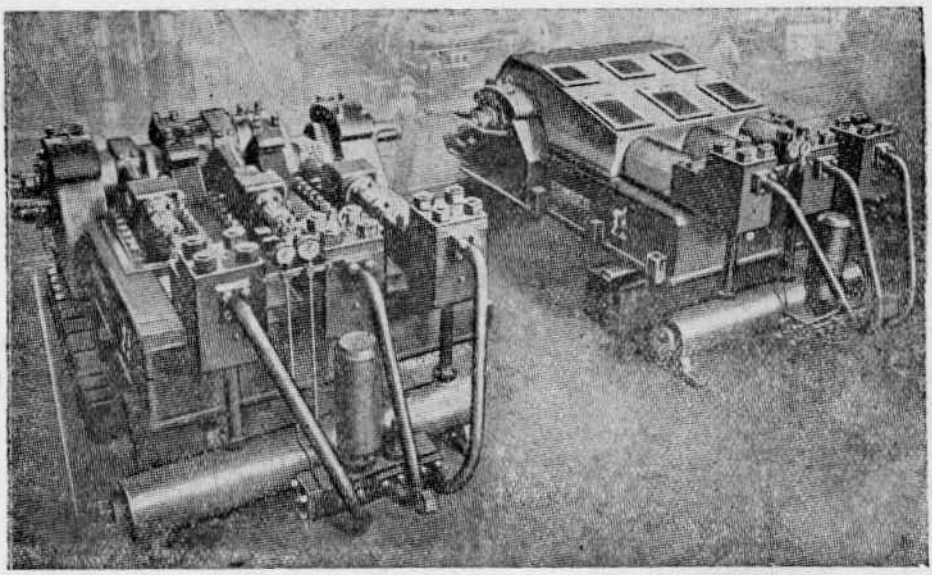
[1] Обычно вертикальные насосы с двигателем не свыше 150 квт.

от ременной передачи насос высокого давления (от 50 до 500 кг/см²), требующий мотора 170 л. с.

На фиг. 188 изображен еще более мощный горизонтальный трехплунжерный (диаметр скалки 56 мм) насос производительностью 280 л/мин воды давлением до 300 кг/см². Насос приводится в движение электромотором 220 л. с., непосредственно сцепленным с валом насоса. Такого же типа большой производительности насос был изображен на фиг. 10.

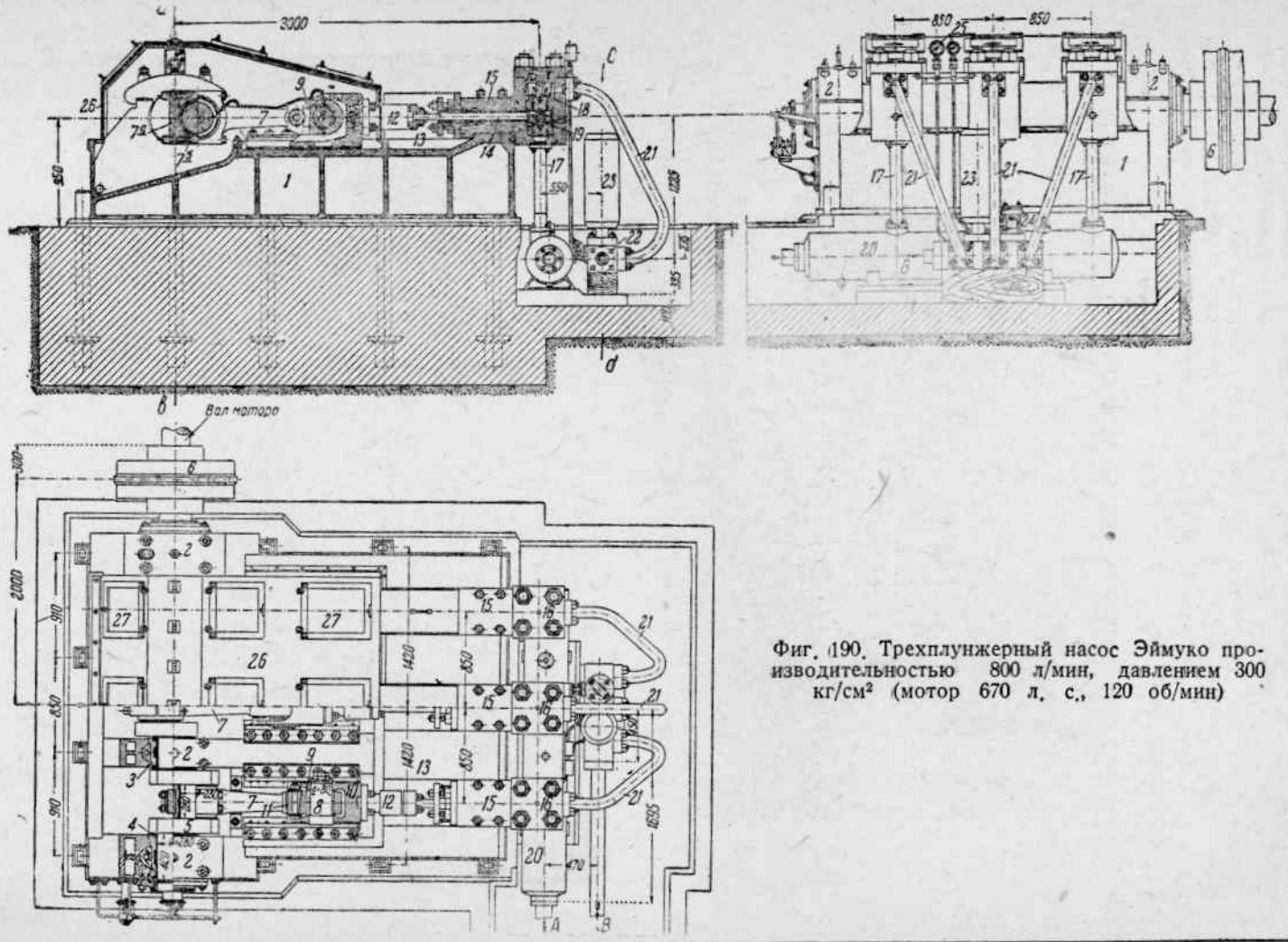


Фиг. 188. Горизонтальный трехплунжерный насос производительностью 280 л/мин, потребная мощность 220 л. с.



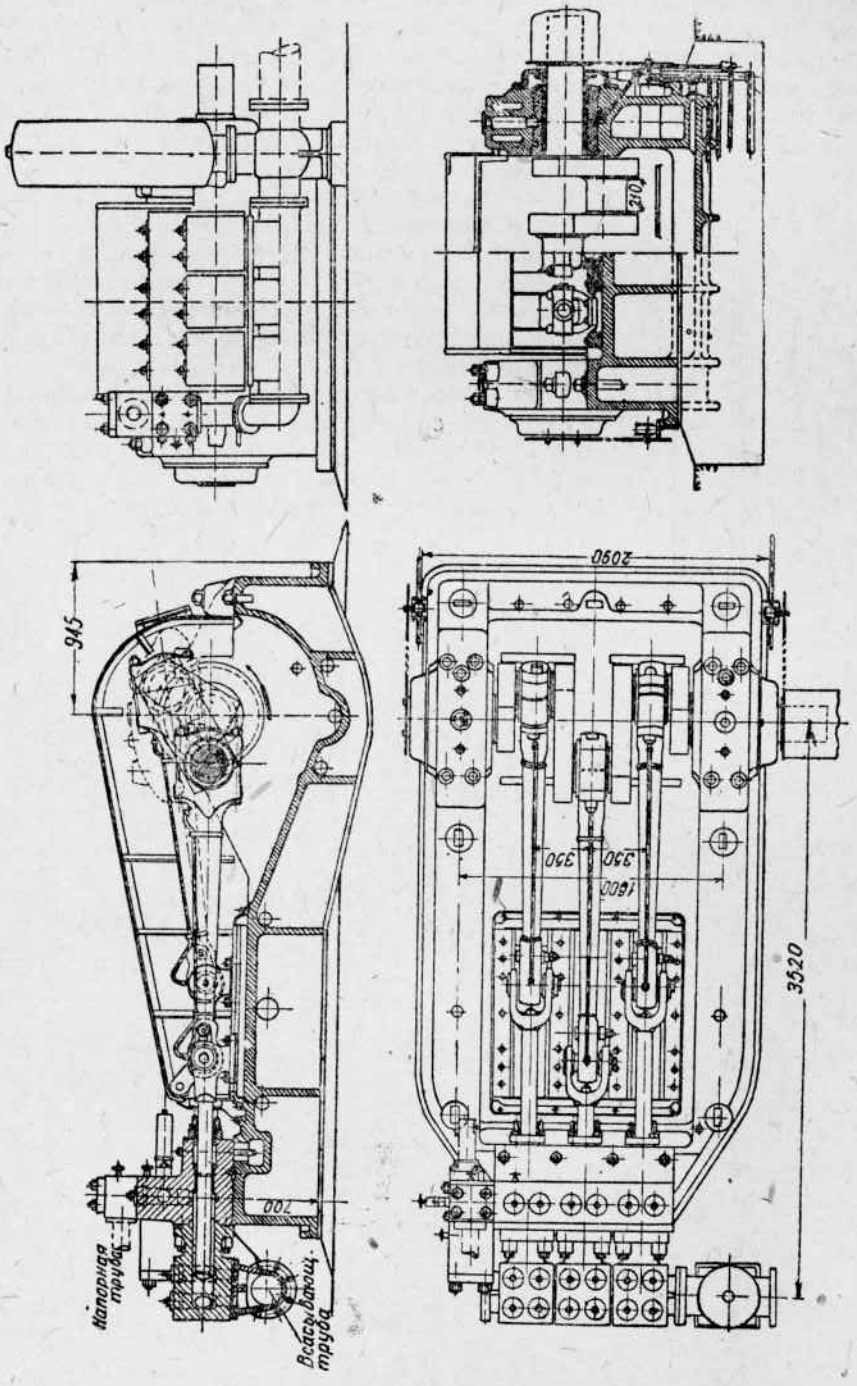
Фиг. 189. Трехплунжерные насосы Эймуко производительностью по 800 л/мин

На фиг. 189 дан общий вид и на фиг. 190 чертеж трехплунжерного насоса производительностью 800 л/мин воды, давлением 300 кг/см², непосредственно сцепленного с электромотором 670 л. с., делающим 120 об/мин. Вес такого насоса 31 000 кг. Насос состоит из следующих частей (см. фиг. 190).



Фиг. 190. Трехплунжерный насос Эймуко производительностью 800 л/мин, давлением 300 кг/см² (мотор 670 л. с., 120 об/мин)

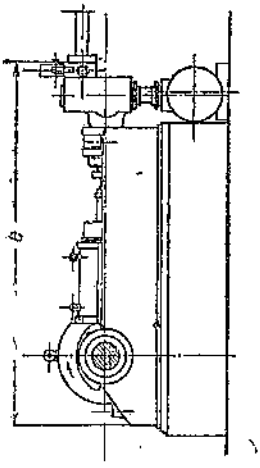
В массивной чугунной станине **1** сделаны четыре гнезда для вкладышей основного вала с крышками **2** и стальными вкладышами **3**, залитыми баббитом **4.** В подшипниках вращается стальной кованый трехколенчатый вал **5**, при помощи муфты **6** приводимый в движение



Фиг. 191. Трехплунжерный насос «Гидравлик» производительностью 620 л/мин, 220 кг/см² (мотор 380 л. с.)

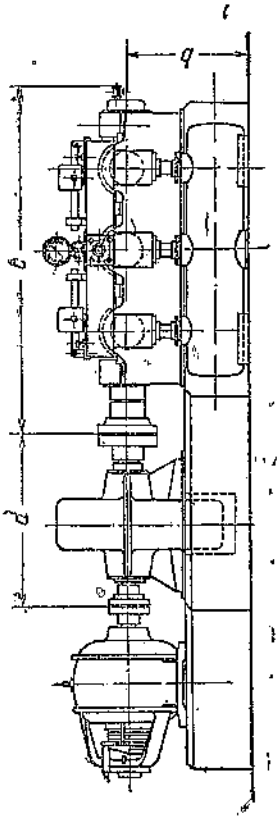
непосредственно электромотором 670 л. с., делающим 120 об/мин. Стальной кованый шатун **7** с такой же крышкой **7а** головки, в которой уложен стальной, залитый баббитом вкладыш **7б,** и стальным

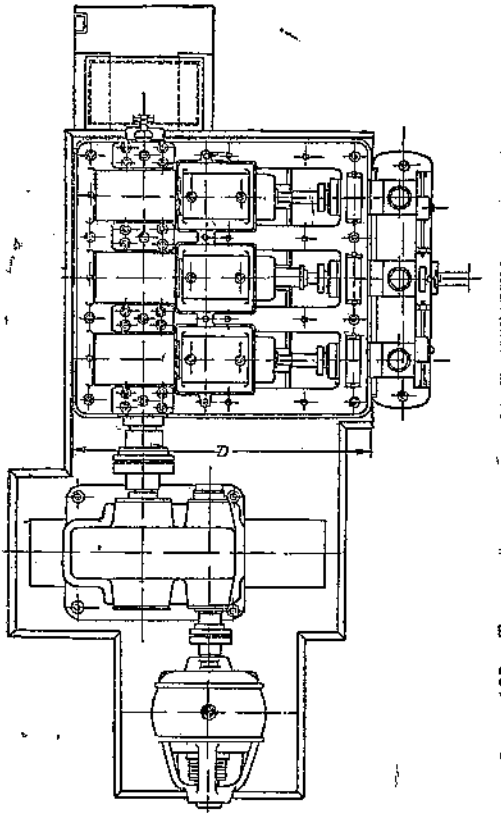
пальцем 8, работающим в бронзовом вкладыше 9, специальной формы, подтягиваемом клином 11, дает поступательно возвратное движение стальному ползуну 10, в передней части которого укреплена деталь 12 и с помощью шайбы 13 плунжер 14. Стальные кованые гидравлические цилиндры 15 закрыты такими же крышками 16. При движении каждого плунжера 14 влево поднимаются клапаны 19, и вода из резервуара 20 по трубе 17 всасывается в цилиндр 15. При обратном движении плунжера вправо находящаяся в цилиндре 15 вода сжимается, закрывает клапан 19, поднимает клапан 18 и поступает по трубе 21 в стальную кованую коробку 22, откуда и отводится дальше к аккумулятору.



Вода в резервуар 20 поступает по стрелке *A*, а из коробки 22 выходит по стрелке *B*. На коробке 22 установлен стальной кованый воздушный колпак 23 и предохранительный пружинный клапан 24. Два манометра 25, контролирующие один другого, показывают давление воды в коробке 22.

Все движущиеся части насоса закрыты кожухом 26 с дверками 27, служащими для осмотра и смазки подшипников и движущихся частей насоса. Смазку лучше всего производить под давлением масляным насосом.





Фиг. 102. Типовой чертёж трехплунжерных горизонтальных насосов Шлемана

Таблица 24

Характеристика насосов высокого давления для аккумуляторных установок

№ по пор.	Насосы									Вес т	Двигатель	
	Производительность л/мин	Давление воды кг/см²	Число оборотов вала в минуту	Длина хода мм	Размеры, мм						мощность л. с.	число оборотов в минуту
					a	*b*	*c*	*d*	*e*			
	Насосы трехплунжерные горизонтальные (к фиг. 192)											
1	1250	240	120	420	3450	1100	3600	1800	4200	37,25	900	720
2	1000	300	120	420	3450	1100	3600	1800	4200	37,25	850	720
3	920	220	120	—	—	—	—	—	—	28,00	550	720
4	900	200	120	—	—	—	—	—	—	24,75	550	720
5	750	240	120	350	2850	1000	3250	1600	3600	23,75	500	720
6	600	200	120	300	2850	1000	3250	1600	3600	24,75	350	720
7	540	300	120	300	2500	1000	2750	1400	3100	20,50	—	—
8	420	220	120	300	2500	1000	2750	1400	3100	15,50	295	
9	330	300	120	300	2500	1000	2750	1400	3100	15,50	330	
	Насосы трехплунжерные вертикальные											
10	92	200	125	—	—	—	—	—	—	3,20	60	800

На фиг. 191 изображен несколько иной конструкции насос, имеющий следующие размеры и производительность:

диаметр плунжера	67 мм	давление воды	до 220 кг/см²
ход	600 мм	число оборотов в минуту	125 об/мин
производительность	620 л/мин	потребная мощность . . .	380 л. с.

На фиг. 183 представлен общий вид аккумуляторной и насосной установки со сцепленными непосредственно с электромотором 1 с помощью редуктора 2 трехскальчатыми насосами 3. В правом углу виден водяной баллон 4 пневматического беспоршневого аккумулятора и слева от него семь воздушных баллонов 5 со всеми автоматическими описанными выше приборами и аппаратурой.

Для суждения об общих размерах насосов выше (табл. 24), применительно к фиг. 192, дана краткая характеристика современных насосов и соответствующих им двигателей.

8. ДИСТРИБУТОРЫ (РАСПРЕДЕЛИТЕЛИ), ИХ КОНСТРУКЦИЯ И РАБОТА НА НИХ

Правильная конструкция дистрибутора, позволяющего регулировать подачу воды от нуля до максимума при наименьшей затрате силы рабочего, имеет очень важное значение, и поэтому на конструирование этой части должно быть обращено самое серьезное внимание.

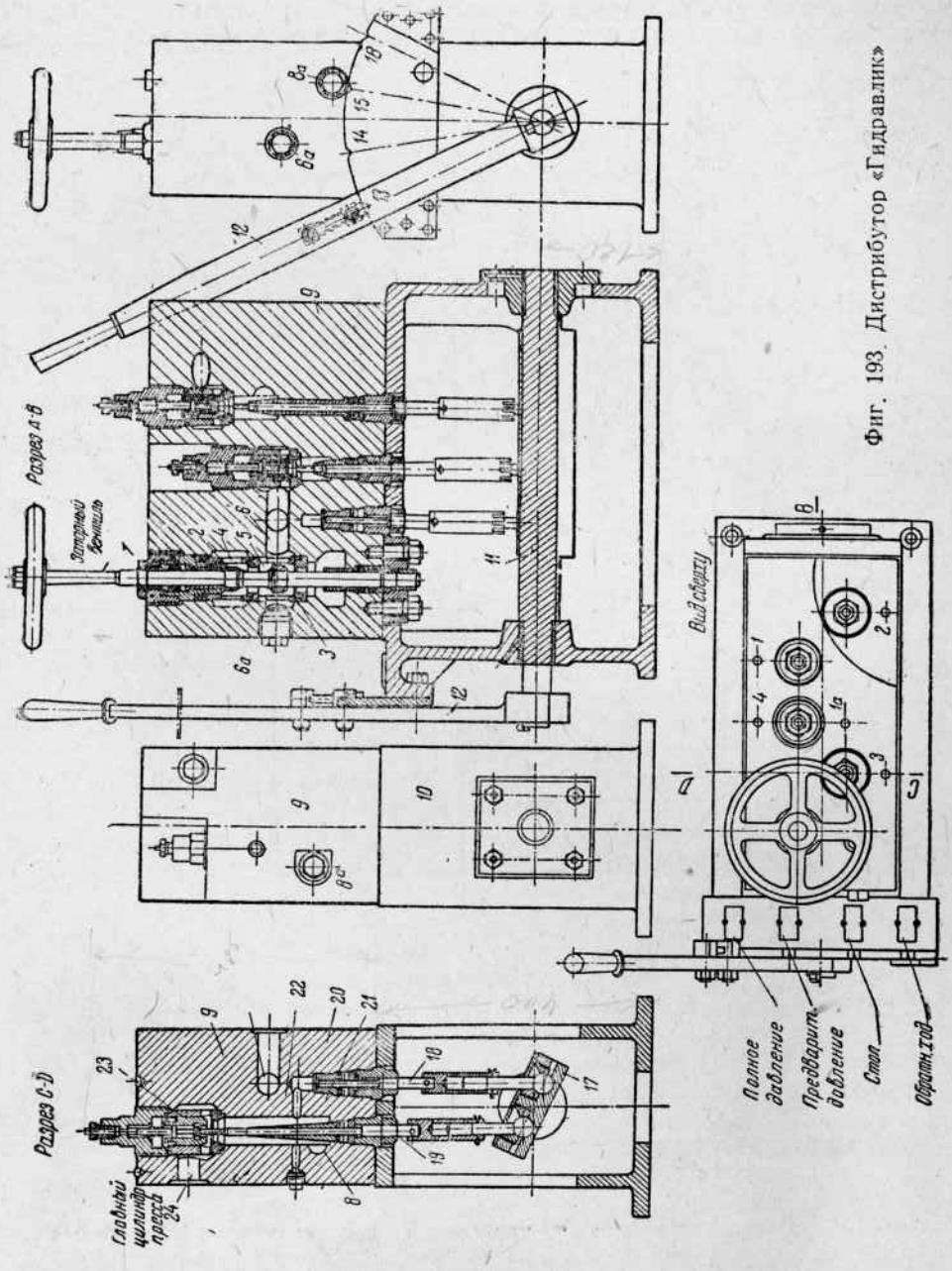
В приборах, работающих под большим давлением, все части делают стальными коваными, клапаны и их гнезда — из нержавеющей стали или бронзы.

Показанный на фиг. 193 дистрибутор состоит из массивной стальной поковки 9, установленной на литой стальной станине 10. Вентиль 1 служит главным дроссельным и запорным клапаном всей установки. При поворачивании маховичком шпинделя 1 он поднимает клапаны 2 и 3 и впускает воду из канала 4 вниз в 5 и 6, а равно в 7, видимые на разрезе по *A—B*. Из канала 7 вода поступает в канал 8. Каналы 6 и 8 проходят вдоль всего корпуса 9 и закрываются с обеих сторон пробками 6а и 8а.

На валу 11 с рукояткой 12, на которой укреплена пружинная защелочка (при помощи ее рукоятка 12 ставится в вырезы 13, 14, 15, 16), сделаны гнезда 17, в которые входят оканчивающиеся шаровыми головками шпинделя 18 и 19. Весь аппарат сконструирован так, что одним поворотом рычага 12, устанавливаемым в вырезы 13, 14, 15, 16, можно дать воду последовательно на «предварительное давление», «полное давление», «стоп» и «обратный ход».

Шпинделя к клапанам сделаны двойными для уравновешивания и легкости работы. Например, разберем сечение аппарата по *C—D*, т. е. по позиции полное давление. При повороте рычага 12 в крайнее левое положение с установкой на вырез 13 у нас будет клапан 23 приподнят, и вода из канала 8 пойдет вдоль шпинделя 19 в канал 24, к которому присоединена труба к главному цилиндру пресса. Шпинделя 18 и 19 движутся в длинных бронзовых втулках 20 и 21 с металлическим уплотнением. Канал 22 подводит воду на разгружающий шпиндель 18, и, таким образом, поворот рукоятки и поднятие клапанов совершаются очень легко. Такое же устройство имеет приводной механизм и к остальным клапанам для предварительного хода пресса и обратного хода. Следует обратить внимание на то, что стержни клапанов соединены с шаровыми подпятниками не неподвижно, а так, что могут иметь некоторую определенную для каждого клапана «игру». Вследствие этого при повороте рычага 12 от зубца 16 к 15,

14 и **13** и обратно — клапаны включаются не одновременно, а в строгой последовательности, гарантирующей невозможность одновременного соединения, например, аккумулятора высокого и низкого давлений (виндкесселя) с рабочим цилиндром, что могло бы явиться причиной крупной аварии (взрыва виндкесселя и трубопровода, не



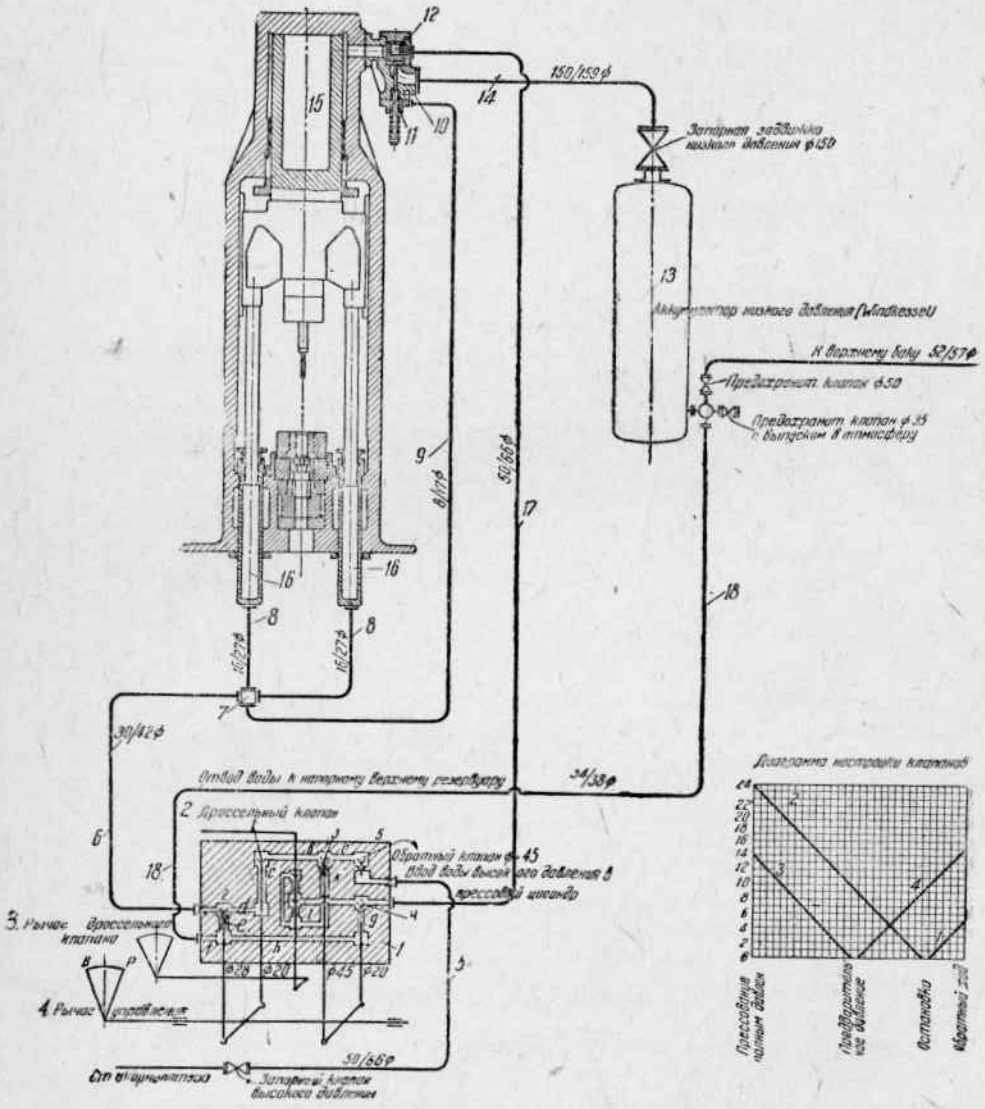
Фиг. 193. Дистрибутор «Гидравлик»

рассчитанных на большие давления). Эта «игра», как видно на следующей фигуре, делается от 1 до 10 мм.

Так как в прессовых установках применяют давления в 200—300 кг/см² и выше, то открывание и закрывание клапанов представляло бы большие затруднения. Для облегчения этой работы устраи-

вают или разгруженные или сложные клапаны, состоящие из основного больших размеров клапана и вспомогательного. При помощи рычага включают малый клапан, он подает воду к большему, последний разгружается, поднимается давлением воды и открывает полный проход.

Работа такого дистрибутора при вертикальном 600-т прессе (ход 900 мм, давление 200 кг/см²) показана на фиг. 194, на которой видна схема дистрибутора и всех трубопроводов такой установки. Дистри-



Фиг. 194. Схема установки и управления вертикального 600-т пресса «Гидравлик»

бутор, подобный описанной выше конструкции, имеет в своем корпусе, помимо дроссельного клапана **2**, управляемого не маховичком, как на фиг. 193, а отдельным рычагом **3**, еще четыре рабочих клапана, которые попеременно в определенной последовательности открывают-

ся и закрываются поворотом вперед или назад рычага 4, и один неприводной обратный клапан 5. При работе клапанов могут быть следующие моменты:

1) пресс стоит, плунжер находится в верхнем исходном положении;

2) плунжер идет вниз холостым ходом до соприкосновения с введенной в контейнер заготовкой, а иногда и с прошивкой ее; эта работа выполняется водой низкого давления от аккумулятора низкого давления — винджесселя;

3) происходит прошивка заготовки и дальше прессование трубы; эту работу выполняет вода высокого давления от аккумулятора;

4) по окончании прессования плунжер поднимается вверх водой высокого давления, подаваемой в цилиндры обратного хода;

5) на пуансон надевается инструмент для отделения остатка в контейнере от выпрессованной трубы, и пуансон идет вниз; эту работу выполняет вода низкого давления;

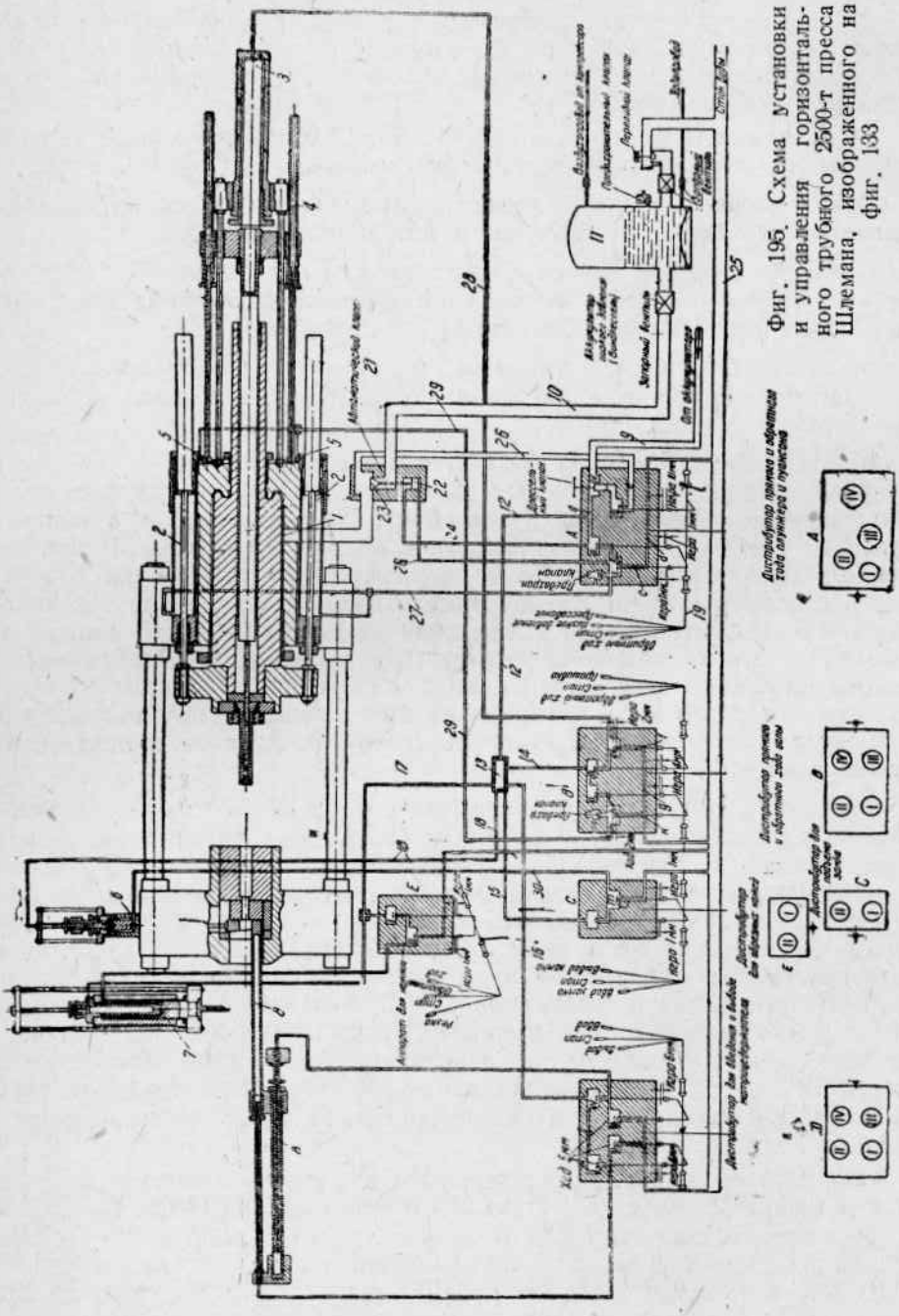
6) наконец, пуансон с главным плунжером поднимается вверх; эту работу выполняет вода высокого давления, вводимая в цилиндры обратного хода.

Когда главный плунжер находится в верхнем исходном положении и рычаг 12 (фиг. 193) на зубце 15 «стоп», то, как это хорошо видно на диаграмме настройки клапанов (фиг. 194) клапаны 2 и 3 закрыты, а клапан 4 поднят на 9 мм. Вследствие этого вода высокого давления, входя в дистрибутор по трубе 5, поднимает обратный клапан 5 и входит в каналы *a* и *b*, но дальше никуда итти не может, так как клапаны 1 и 3 закрыты. Вместе с тем вода из трубы 17 через клапан 4 и каналы *g*, *h* и *f* соединена трубой 18 с верхним, питающим насосы баком. Клапаны 1 и 2 закрыты, вода в обратные цилиндры 16 поступать не может, но в то же время не имеет возможности выходить из цилиндра; таким образом главный плунжер, пуансон и игла будут стоять на месте.

При повороте рычага 4 (фиг. 194) вперед на 0,5° начинает открываться, как видно на диаграмме, клапан 2, но в то же время закрывается клапан 4. Когда рычаг станет на точку «предварительное давление», клапан 4 будет совершенно закрыт, а клапан 2 открыт на 9 мм. Вследствие этого сначала выход воды из трубы 17 будет прекращен, а затем, с открытием клапана 2 вода высокого давления из автоматического клапана 10 по трубе 9 и из цилиндров обратного хода 16 по трубам 8, через коробку 7, трубу 6 и каналы *d*, *c* и *f*, будет иметь возможность вытекать, давление в них понизится, и автоматический клапан 10 под действием пружины 11 откроет золотником 12 проход воде низкого давления из винджесселя 13 по трубе 14 в главный цилиндр 15, и главный цилиндр под действием низкого давления пойдет вниз.

При дальнейшем повороте рычага 4 вперед на точку «полное давление» клапан 2 будет открыт на 24 мм и клапан 3 на 14 мм. Вследствие этого поступающая по трубе 5 от аккумулятора вода высокого давления, войдя в дистрибутор через клапан 5 канал *a*, клапан 3 и каналы *k*, *l* и *m*, будет итти по трубе 17 к золотнику 12, который давлением сверху опустится вниз; этим вода отсечет соединение цилиндров 15 с 13, попадет в цилиндр 15, плунжер пойдет дальше вниз и будет прессовать заготовку. Ввиду того, что клапан 2 в это время открыт на полный подъем, вода из цилиндров 16 будет выдавлена по трубе 6 через клапан 2, по каналам *d*, *c* и *f* и по трубе 18 в напорный бак.

При обратном движении рычага **4** выключается сначала клапан **3**, т. е. прекращается подача воды высокого давления по трубе **17** к зо-



Фиг. 195. Схема установки и управления горизонтального трубного 2500-т пресса Шлемана, изображенного на фиг. 133

лотнику **12** и цилиндру **15**; затем открывается клапан **4**, и вода из цилиндра **15** и трубы **17** получает возможность выйти через клапан **4**, каналы *g*, *h* и *f* и трубу **18** в напорный верхний питающий насосы бак. После этого закрывается клапан **2**, и, таким образом, прекращается выход воды из цилиндров обратного хода **16** по трубе **6**.

При дальнейшем движении рычага назад от точки «стоп» до «обратный ход» еще больше открывается клапан 4, отчего давление сверху на золотник 12 понизится. В то же время открывается клапан 1, вследствие чего подается вода высокого давления по каналам *a*, *b*, *c*, *d* и трубе 6 в цилиндры обратного хода, и по трубе 9 дается высокое давление под золотник 12. Последний поднимается вверх, открывает проход воды из цилиндра 15 в виндкессель 13, отчего плунжер пойдет вверх. При переводе рычага обратно на «стоп» клапан 1 закрывается, т. е. подача воды высокого давления в цилиндры 16 и по трубе 9 под золотник прекращается (отсекается), но давление в них сохраняется, и попрежнему, хотя и меньше (вместо 15 мм всего на 9 мм), будет открыт клапан 4. Плунжер остается неподвижным и пресс будет готов для дальнейшей работы.

На фиг. 195 дана полная схема управления горизонтального трубно-пруткового пресса. Пресс имеет главный цилиндр 1, два цилиндра обратного хода главного плунжера 2, цилиндр прямого хода иглы 3 и обратного 4 (последние питаются водой через полые скалки в местах 5), цилиндр замка 6, два цилиндра ножниц 7 и, наконец, два цилиндра 8 для ввода и вывода матрицедержателя. В связи с этим при прессе установлено пять дистрибуторов, управляющих указанными его частями.

Дистрибутор *A* управляет цилиндрами 1 и 2 прямого и обратного ходов главного плунжера.

Дистрибутор *B* управляет цилиндрами 3 и 4 прямого и обратного ходов иглы.

Дистрибутор *C* управляет цилиндрами 6 прямого и обратного ходов замка.

Дистрибутор *D* управляет цилиндрами 8 для ввода и вывода матрицедержателя.

Дистрибутор *E* управляет цилиндрами ножниц 7.

Пресс питается водой высокого давления по трубе 9 от аккумулятора и по трубе 10 водой низкого давления от виндкесселя 11. Аппаратура при прессе и виндкесселе указана на чертеже. Рассмотрим работу каждого из этих дистрибуторов.

Дистрибутор цилиндров прямого и обратного ходов главного плунжера

Вода высокого давления поступает по трубе 9 к дистрибутору *A* и от него по трубе 12 к распределительной коробке 13. Отсюда по трубе 14 она идет в дистрибутор *B*, по трубе 15 в дистрибутор *C*, по трубе 16 в дистрибутор *D*, по трубе 17 в дистрибутор *E* и в цилиндры 7, по трубе 18 в цилиндр 6. Таким образом вода, подаваемая по трубам 17 и 18, поступает в цилиндры 6 и 7 помимо дистрибутора, т. е. создает постоянное давление, вводящее на место замок и разводящее ножи ножниц.

В дистрибуторе *A* имеются четыре клапана I, II, III и IV, причем последний (IV) является запорным и дроссельным, т. е. регулирующим скорость прессования. Шпиндели клапанов имеют разную «игру» и разной длины рычаги, благодаря чему при повороте рычага и распределительного вала 19 клапаны открываются и закрываются в определенной последовательности.

Так, когда рычаг управления дистрибутора стоит на «обратный ход», т. е. когда главный плунжер находится в крайнем правом исходном положении, цилиндр прямого хода 1 должен быть соединен с виндкесселем, а цилиндры обратного хода находятся под высоким давлением. Это достигается тем, что при таком положении рычага

дистрибутора (на фиг. 193 зубец 16) клапан II (фиг. 195) будет открыт. Тогда вода высокого давления проходит из трубы 9 по каналу *a*, далее через клапан II, канал *b* и трубу 20 под низ поршня 22 автоматического клапана. Вследствие наличия в верхней части меньшей рабочей площади поршня 22, чем снизу, создается превалирующее давление снизу, поднимающее поршень 22, а следовательно, и клапан 23, вверх, благодаря чему главный цилиндр 1 находится под давлением воды виндкесселя, а цилиндры обратного хода главного плунжера 2 под высоким давлением, поступающим в них по трубе 27 от дистрибутора.

При повороте валика 19 и рычага на «стоп» (зубец 15) и далее на «низкое давление» (фиг. 193, зубец 14) клапан II дистрибутора начинает закрываться, и, когда он закроется, открывается клапан I. Тогда высокое давление по трубе 20 под поршень уже поступать не будет и при установке рычага на зубец 14 (фиг. 193), наоборот, труба 20 соединится через поднятый клапан I, каналы *c* и *d* с трубой 25, т. е. со стоком в канализацию. Таким образом обратного давления в цилиндрах обратного хода 2 не будет, и главный плунжер в цилиндре 1 получает холостой «ход вперед», который прекратится после введения слитка в контейнер и небольшого его обжатия.

Очевидно, что обратный поворот рычага на «стоп» даст давление в цилиндры обратного хода, и плунжер с пуансоном могут быть отведены немного назад, чтобы при прессовании труб дать в контейнере место для двигающегося по игле материала при прошивке слитка, о чем говорилось выше. При прессовании прутков такой отвод назад не требуется.

При дальнейшем повороте валика 19 (фиг. 195) и рычага от зубца 14 (фиг. 193) — «низкое давление» на зубец 13 — «полное давление» клапан I, имеющий «игру» в 1 мм, продолжает еще больше открываться и затем открывается клапан III, имеющий «игру» в 10 мм. Тогда цилиндры обратного хода попрежнему будут включены на «стоп» в канализацию, давление снизу поршня 22 будет уничтожено, и, наоборот, сверху будет действовать полное давление, клапан 23 закроется и по открытии через некоторое время клапана III вода высокого давления через этот клапан, канал e и трубу 26 будет поступать в главный цилиндр 1; пресс будет развивать полное рабочее давление на пуансон.

При обратном движении рычага клапаны будут закрываться в обратном порядке, т. е. сначала клапан III (прекратится подача воды высокого давления в цилиндр 1), затем I (прекратится соединение цилиндров 2 и трубы 20 с канализацией), наконец, открывается клапан II (клапан 23 откроет выход воды из цилиндра по трубе 10 в виндкессель), и плунжер пойдет в исходное правое положение.

Подобным же образом управляют движениями соответствующих частей и другие дистрибуторы. Рассмотрим работу более сложного дистрибутора *B* и простого *C*.

Дистрибутор цилиндров прямого и обратного ходов иглы

Очевидно, что при нахождении плунжера прямого хода иглы в крайнем правом положении цилиндр 3 соединен трубой 28 с канализацией и цилиндры 4 трубой 29 с высоким давлением. Для этого клапаны II и IV дистрибутора *B* должны быть открыты. Тогда вода при положении рычага дистрибутора на «обратный ход» из трубы 28 через клапан IV и каналы *f* и *d* уходит в канализацию, а через клапан II, канал *h* и трубу 29 вода высокого давления поступает в точки 5 питания через полые скалки цилиндров 4 обратного хода иглы. При

движении рычага управления дистрибутора на «стоп» и далее на «прошивка» закрывается сначала клапан IV, отчего прекращается соединение цилиндра 3 с отводной трубой 25, затем клапан II, и прекращается подача в цилиндры 4 воды высокого давления. Затем открывается клапан I, отчего вода из цилиндров 4 обратного хода иглы направится по трубе 29 через клапан I и канал *k* в сточную трубу 25, и наконец, открывается клапан III, имеющий «игру» в 4 мм, отчего вода высокого давления через этот клапан поступает по трубе 28 в цилиндр 3, и игла пойдет вперед. При обратном повороте рычага клапаны будут выключаться в обратном порядке, т. е. сначала закроется клапан III, затем I, а откроются сначала IV и, наконец, II; плунжер цилиндра 3 и цилиндры 4 займут крайнее правое положение.

Дистрибутор замка

Так как от распределительной коробки 13 по трубе 18 передается через полый шток постоянное давление внутрь подвижного плунжера цилиндра 6, то этим создается постоянно действующая сила, вводящая замок на место. Следовательно, только при желании поднять замок приходится давать по трубе 30 давление в цилиндре 6, не переводя даже давления внутри плунжера по трубе 18 на «стоп». Тогда, благодаря большой площади плунжера, давление снизу будет превалировать над верхним, плунжер поднимется вверх и связанной с плунжером траверсой и показанными пунктиром на фигуре тягами поднимет замок вверх.

При введенном на место замке клапан II будет закрыт, вследствие чего полость цилиндра 6 соединяется трубой 30 через клапан II и канал *m* с канализационной трубой 25. Давления на плунжер цилиндра 6 снизу не будет, и замок верхним давлением плотно прижмется к своему месту. При повороте рычага на «стоп» и далее на «открытие замка» клапан II закроется, а затем благодаря «игре» в 1 мм откроется клапан I. Тогда вода высокого давления из коробки 13 по трубе 15, через клапан I и трубу 30 поступит в цилиндр 6, даст полное давление на плунжер этого цилиндра, который, пересилив постоянное давление сверху, поднимет замок вверх. После сказанного действие остальных дистрибуторов также легко может быть разобрано на фиг. 195.

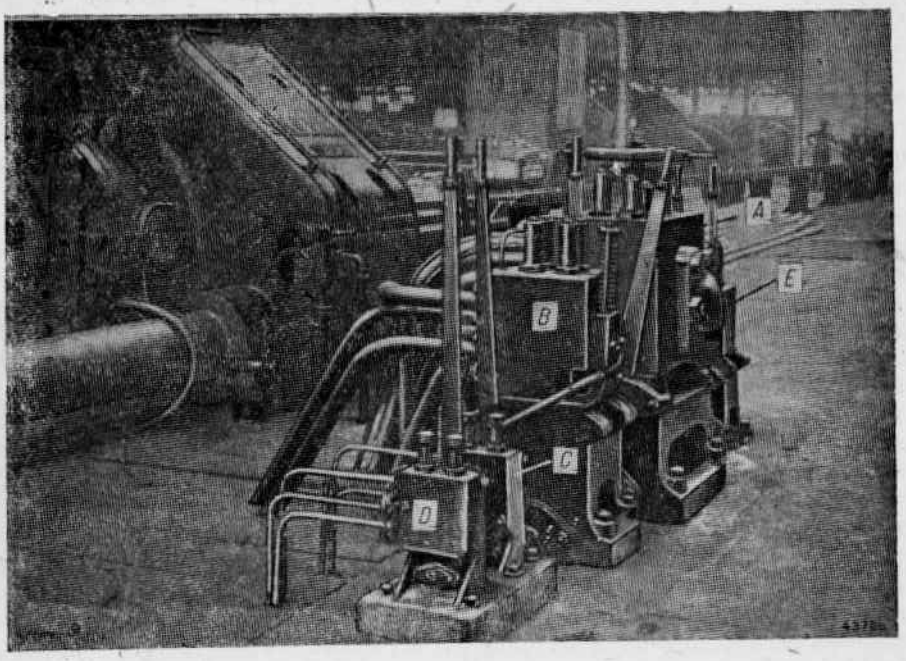
Внизу на фиг. 195 дан вид сверху на дистрибуторы, где изображено расположение клапанов в корпусе каждого дистрибутора, а на фиг. 196 дан общий вид установки всех этих дистрибуторов у того же пресса. На фиг. 196 дистрибуторы указаны теми же буквами, как и на фиг. 195 (*A* — главный дистрибутор, управляющий работой пуансона, *B* — дистрибутор, управляющий работой иглы, *C* — дистрибутор замка, *D* — дистрибутор ножниц, *E* — дистрибутор для ввода и вывода матрицедержателя).

Сверху корпуса дистрибутора *A* виден маховичок дроссельного и запорного клапанов, позволяющих широко регулировать скорости в соответствии со свойствами прессуемых металлов и сплавов.

На фиг. 137 была показана схема прутковых американских прессов. Управление этими установками осуществляется следующим образом.

Пресса работают, как сказано выше, непосредственно от трехскальчатых насосов 29, получающих воду или эмульсию от рядом стоящих баков 30. Для возможности отключения бака непосредственно у него на трубопроводе установлена задвижка 31. У насоса установлен предохранительный клапан 32 и запорный вентиль 33. Вода высокого давления, пройдя вентиль 33, попадает в тройник 34, где разделяется на два потока: трубой 35 подается к крану управле-

ния **36** — прямого хода главного плунжера и трубой **37** к крану **38** — движения контейнера (по чертежу влево) и к крану **39** — движения замка (по чертежу вверх). Кроме того, от трубы **37** сделано ответвление **40**, соединяющееся с трубой **41**, а от нее передается постоянное (без переключения) давление по трубе **42** к цилиндрам обратного хода главного плунжера **4**, по трубе **43** с задвижкой **44** к цилиндрам **9** для обратного хода контейнера (по чертежу вправо), а также по трубе **45** с задвижкой **46** к цилиндру замка **14** для обратного (по чертежу вниз) хода замка, по трубе **47** к цилиндрам ножниц **24** для обратного хода ножа (по чертежу вниз) и к крану **48** — для рабочего хода ножа по трубкам **49**.



Фиг. 196. Общий вид установки дистрибуторов при горизонтальном трубно-прутковом прессе Шлемана

Таким образом обратный ход плунжеров цилиндров **4, 9, 14** и **24** осуществляется постоянным давлением, что удобно в отношении простоты устройства и управления (простые краны вместо сложных дистрибуторов), но зато рабочее давление в этих цилиндрах соответственно снижается. На тройнике **34** установлен также предохранительный клапан **50**, позволяющий регулировать давление воды. При достижении давлением определенной величины клапан открывается и перепускает воду в бак **30**.

Воздух давлением в 7—8 кг/см² подается от компрессора по трубе **51**, из которой подводится к кранам **52, 53, 54, 55** и **56**.

Кран **52**, получая воздух по трубе **57**, при правом положении рычажка крана, подает его по трубе **58** в распределительную коробку **59**, задвижка которого с соответствующим отверстием управляется поршнем **60**. Очевидно, что если справа на поршень **60** дать давление воздуха, а слева по трубе **61** его выпустить, то задвижка сдвинется влево, и вода от крана **36** по трубе **62** через задвижку **59** и трубу **63** будет итти в цилиндр **1**, и главный плунжер пойдет (по чертежу) вправо, выдавливая воду из цилиндров обратного хода **3** в сеть. Для того, чтобы дать главному плунжеру обратный ход, достаточно не

трогая воздушного крана 52, только повернуть маховичок крана 36, тогда подача воды по трубе 35 прекратится, и вода из цилиндра 1 по трубе 63 и 62 потечет через трубу 64 в бак 30. При желании дать главному плунжеру «стоп» в любом его положении достаточно повернуть рукоятку *а* крана 52 влево, тогда воздух из трубки 58 выйдет, наоборот, по трубе 61, войдет в цилиндр 60, поршень и его задвижка пойдут вправо и прекратят движение воды по трубе 63—64.

Кран 53 управляет штоком 69 цилиндра 68. Шток этот служит для вталкивания слитка в контейнер. Воздух к крану 53 поступает по трубе 65 и от него подается трубами 66 и гибкими рукавами 67 в цилиндр 68 с обеих сторон поршня штока 69. Впуская воздух с одной и выпуская его краном 53 с другой стороны, можно заставить шток 69 при поднятом вверх пуансоне 21 втолкнуть слиток в контейнер или отвести шток назад.

Кран 54 управляет работой цилиндра 18 подъема пуансона 21 при подаче слитка в контейнер. При правом положении рычажка клапана он получает воздух по трубе 70 с задвижкой 71, по трубе 72 с гибким шлангом 73 и через задвижку 74 подает его в цилиндр 18. При повороте рычажка влево воздух из-под поршня цилиндра 18 выходит, и пуансон 21 опускается в свое рабочее положение.

Подобным же образом управляет кран 55 работой подъемного цилиндра 16. Здесь также поворот рычажка крана вправо дает подъем и влево — опускание поршня цилиндра.

Кран 56 управляет работой цилиндра 27. Поворот рычажка крана влево дает движение вправо и поворот рычажка вправо, наоборот, вводит выводной желоб на место.

9. ТРУБОПРОВОДЫ, ИХ УСТРОЙСТВО И СОЕДИНЕНИЯ

Выше, в разделе 6 этой главы, говорилось, что при быстром падении груза аккумулятора и его полной остановке или даже уменьшении скорости его движения, получающейся при выключении большего или меньшего числа работающих прессов, в трубопроводах создается пиковое повышение давления, часто в два-три раза превышающее нормальное [1].

Но не только это служит причиной того, что работа сети высокого давления протекает в весьма тяжелых условиях. При работе гидропрессовых установок происходит постоянно то включение, то остановка работающих прессов. Вследствие этого равномерного, установившегося движения жидкости в трубопроводах прессовых установок никогда не бывает. Опыт [2] показывает, что в сети происходят постоянные колебания давлений, и порой весьма значительные.

Причинами этого являются: 1) аккумуляторы грузовые дают при остановке или замедлении опускания груза большие пиковые повышения давления; 2) насосы, даже многоскальчатые, как об этом говорилось выше, подают в сеть воду толчками; 3) частый ритмически повторяющийся громадный забор воды из сети при весьма ограниченных размерах трубопроводов создает в них то высокое давление воды до 200—300 кг/см², то падение его до 8—12 кг/см²; 4) чрезвычайная легкость образования при высоких давлениях сверхвысоких скоростей движения жидкости, достигающих в подающих трубопроводах и в кранах дистрибуторов 15—20—25 м/сек; 5) закрытие клапанов в дистрибуторах во время работы прессов дает также достаточно сильные толчки.

---

[1] Основы расчета этого повышения давления приводятся далее в разделе 7 главы IV настоящей книги.

[2] В. Г. Костогаров, Гидропрессовые установки, 1936, стр. 80—86.

Последнее явление замечено давно: опыты Фонтэна в морском арсенале в Тулоне еще в 1890 г. показали, что динамическое увеличение давления воды в сети при быстром опускании груза аккумулятора возрастает в полтора-два раза. Быстрое закрытие клапана у дистрибутора также мгновенно повышает давление в сети перед клапаном. Мишо для определения этой величины дает формулу[1] следующего вида:

$$H_{s_{max}} = 38v\sqrt{\frac{H}{m \cdot R_z + 0{,}025\,H}},$$

в которой $H_{s\,max}$ — увеличение давления в сети у запорных приспособлений в момент их закрытия, м вод. ст.;

v — скорость движения воды в сети при установившемся процессе, м/сек;

H — статическое давление воды в сети, м вод. ст.;

m — коэфициент для железа, равный 1, для чугунных труб, равный 2;

R_z — допускаемое напряжение материала трубопровода, кг/мм².

Пример. $H = 200$ кг/см² $= 2000$ м вод. ст.; $v = 3$ м/сек.; трубы стальные, т. е. $m = 1$ и $R_z = 6$ кг/мм². Тогда повышение давления при закрытии клапана будет достигать величины

$$H_{s_{max}} = 38 \cdot 3\sqrt{\frac{2000}{1 \cdot 6 + 0{,}025 \cdot 2000}} = 114\sqrt{\frac{2000}{56}} = 114\sqrt{36} = 114 \cdot 6 = 684 \text{ м вод. ст.} = 68{,}4 \text{ кг/см}^2.$$

Все это создает для работы трубопроводов очень тяжелые условия. Поэтому на устройство трубопроводов, их расположение, расчет сечений и прочность должно быть обращено самое серьезное внимание.

Для возможного уменьшения волновых возмущений в сети при проектировании принимаются следующие мероприятия:

1. В сети не следует допускать большой циркуляции волн. Поэтому должны быть предусмотрены мероприятия, обеспечивающие отсутствие резонанса гидростатических давлений. Ветвь должна быть короткой, сети должны быть не кольцевые, а тупиковые, что обеспечивает скорейшее затухание волн.

2. На каждой ветви не следует допускать установку большого числа прессов. Обычно на одной ветви не ставят больше пяти-шести прессов, если они потребляют небольшие количества воды; при прессах водоемких, больших размеров, это количество должно быть по крайней мере в 2—2½ раза меньше.

3. Дистрибуторы должны быть со спокойным впуском воды, т. е. должны иметь большие сечения клапанов; это относится в равной мере к клапанам насосов, в которых рекомендуется допускать скорости не выше 10 м/сек. Поэтому выгоднее применять небыстроходные насосы, объемный к. п. д. которых к тому же выше, чем быстроходных (соответственно 0,95 и 0,85).

4. Дистрибуторы должны снабжаться обратными клапанами для отраженных при впуске в цилиндр пресса волн.

5. Аккумуляторы, в особенности грузовые, должны быть возможно большего объема, что обеспечивало бы их более спокойную работу.

6. Должна быть предусмотрена невозможность попадания в сеть воздуха.

[1] Hütte инж., 1929, т. 1, стр. 390.

7. Сеть должна быть снабжена приборами для автоматического спуска накопляющегося воздуха.

8. Сеть должна быть снабжена предохранительными клапанами и компенсаторами давления у дистрибуторов.

9. Скорость движения жидкости в трубопроводах должна быть возможно малой. Ранее считалось, что допускать скорость более 2,5—3 м/сек в трубопроводах не следует; для высоких давлений и для холостого хода принимали их в два-три раза бо́льшими. Однако теперь при установке большой мощности прессов приходится допускать скорости значительно бо́льшие, доводя их в трубах подающих до 15—20 и даже 25 м/сек, с целью возможно уменьшить диаметры трубопроводов и тем удешевить стоимость установки, и в обратных — до 15 м/сек[1].

Например, если примем, что диаметр трубопроводов равен диаметру отверстий в дистрибуторах, т. е.

для 3000-т пресса ∅ 99,5 мм (трубы 126,5 × 99,5) или $f = 77{,}75$ см²
» 1500 » » ∅ 68 » (» 89 × 68) » $f = 36{,}31$ »
» 600 » » ∅ 50 » (» 68 × 50) » $f = 19{,}63$ »
» 300 » » ∅ 38 » (» 54 × 38) » $f = 11{,}34$ »

то, приняв максимальный расход воды в секунду (согласно табл. 83, 84 и 85):

для 3000 т пресса в 125 л/сек
» 1500 » » » 76 »
» 600 » » » 36 »
» 300 » » » 22,5 »

получаем скорости в трубопроводе, указанные в табл. 25.

Таблица 25

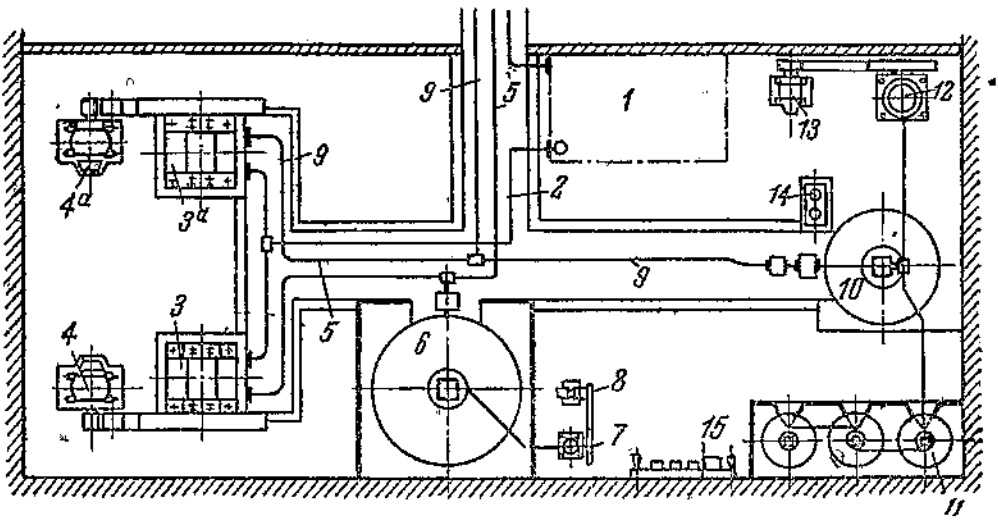
Пресс т	Диаметр труб мм	Сечение труб см²	Максимальный расход воды л/сек	Скорость м/сек
3000	126,5 × 99,5	77,75	125	16,1
1500	89 × 68	36,31	76	21,0
600	68 × 50	19,63	36	18,3
300	54 × 38	11,34	22,5	20,0

10. Для холостых ходов необходимо применять воду низких давлений, устанавливая для этого виндкессели или отдельные аккумуляторы низкого давления.

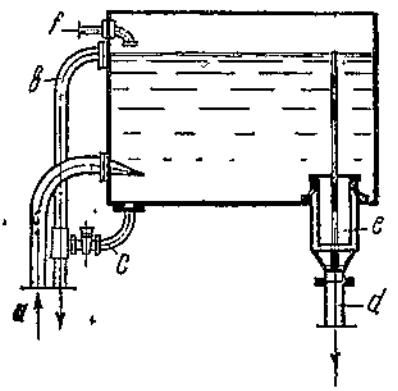
Учитывая все это, в трубопроводах не допускают крутых поворотов. Трубы применяют для этой цели стальные цельнотянутые толстостенные. Соединения труб делаются на фланцах особо прочной конструкции, укрепленных на трубах надежным образом, прокладки применяются только металлические, надлежащей прочности. При высоких давлениях лучше всего соединения труб делать на пришлифованных к гнездам стыка двухконусных стальных кольцах, затем на медных прокладках и т. п.— в зависимости от величины внутреннего давления.

На фиг. 197 дана полная схема трубопровода и установки с пневматическими аккумуляторами низкого и высокого давлений, состоя-

[1] Hütte инж., 1935, т. II, стр. 855.



Фиг. 197. Схема трубопроводов и полной установки с пневматическими беспоршневыми аккумуляторами высокого и низкого давлений



Фиг. 198. Сливной бак при работе с чистой водой или при работе с эмульсией

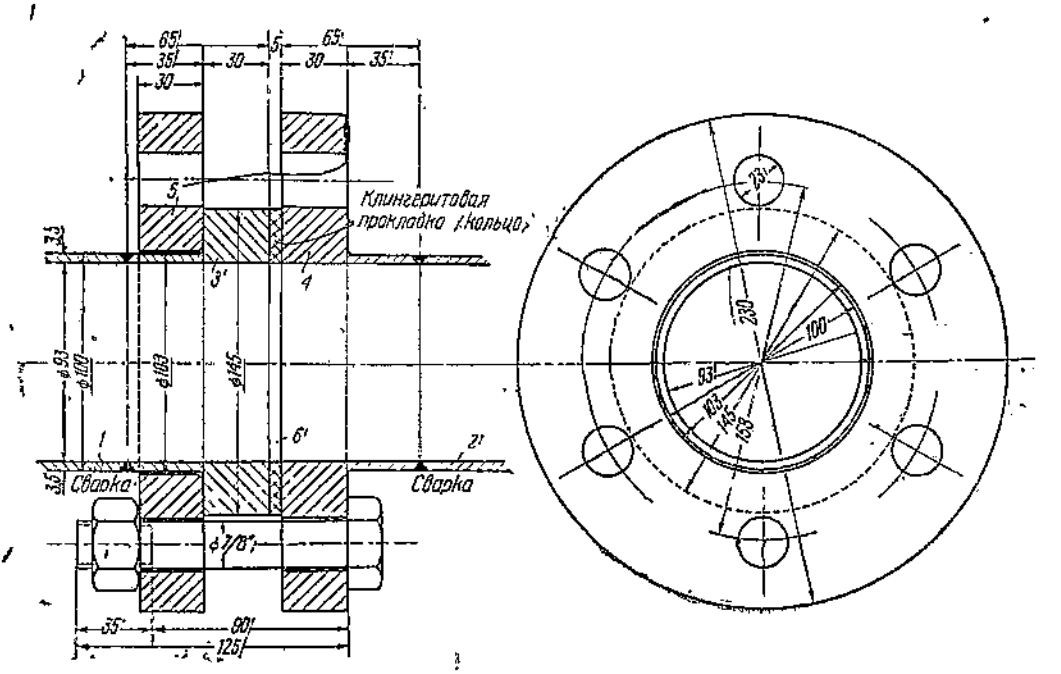
щей из следующих частей: 1 — помещенный на стойках под потолком сливной бак, из которого по трубе 2 берут воду насосы 3 низкого и 3а высокого давлений. Насосы 3 и 3а приводятся в работу соответственно электромоторами 4 и 4а. Из насоса 3 вода низкого давления по трубе 5 поступает либо в баллон 6 пневматического аккумулятора низкого давления типа, изображенного на фиг. 185, либо вместе с водой из аккумулятора к прессу. Давление воздуха в аккумуляторе поддерживается компрессором низкого давления 7, приводимым от мотора 8. Вода от насоса 3а по трубе 9 поступает либо в баллон 10 пневматического беспорш-

Фиг. 199. Сливной бак при грязной воде

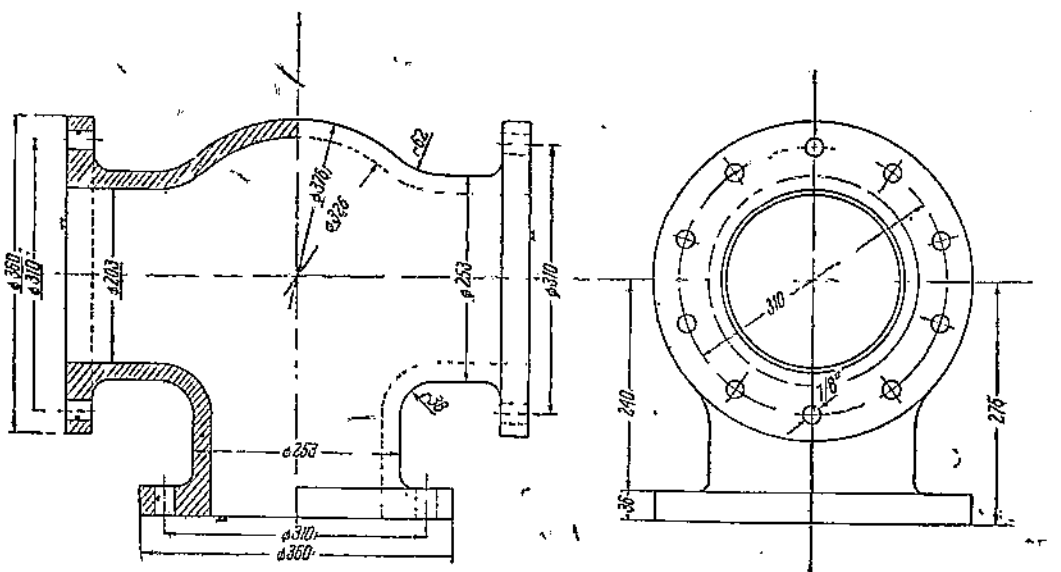
невого аккумулятора, либо непосредственно к прессу. Давление воздуха в водяном баллоне регулируется тремя воздушными баллонами 11, воздух в которых периодически подкачивается компрессором высокого давления 12, работающим от электромотора 13, 14 — автоматические регуляторы

«Гидравлик», описанные выше, и 15 — распределительный электрический щиток.

На фиг. 198 изображен сливной бак для отработанной воды. Здесь *a* — обратная труба от прессов, *b* — предохранительная труба, спускающая излишек воды в канализацию, *c* — спускная труба с краном



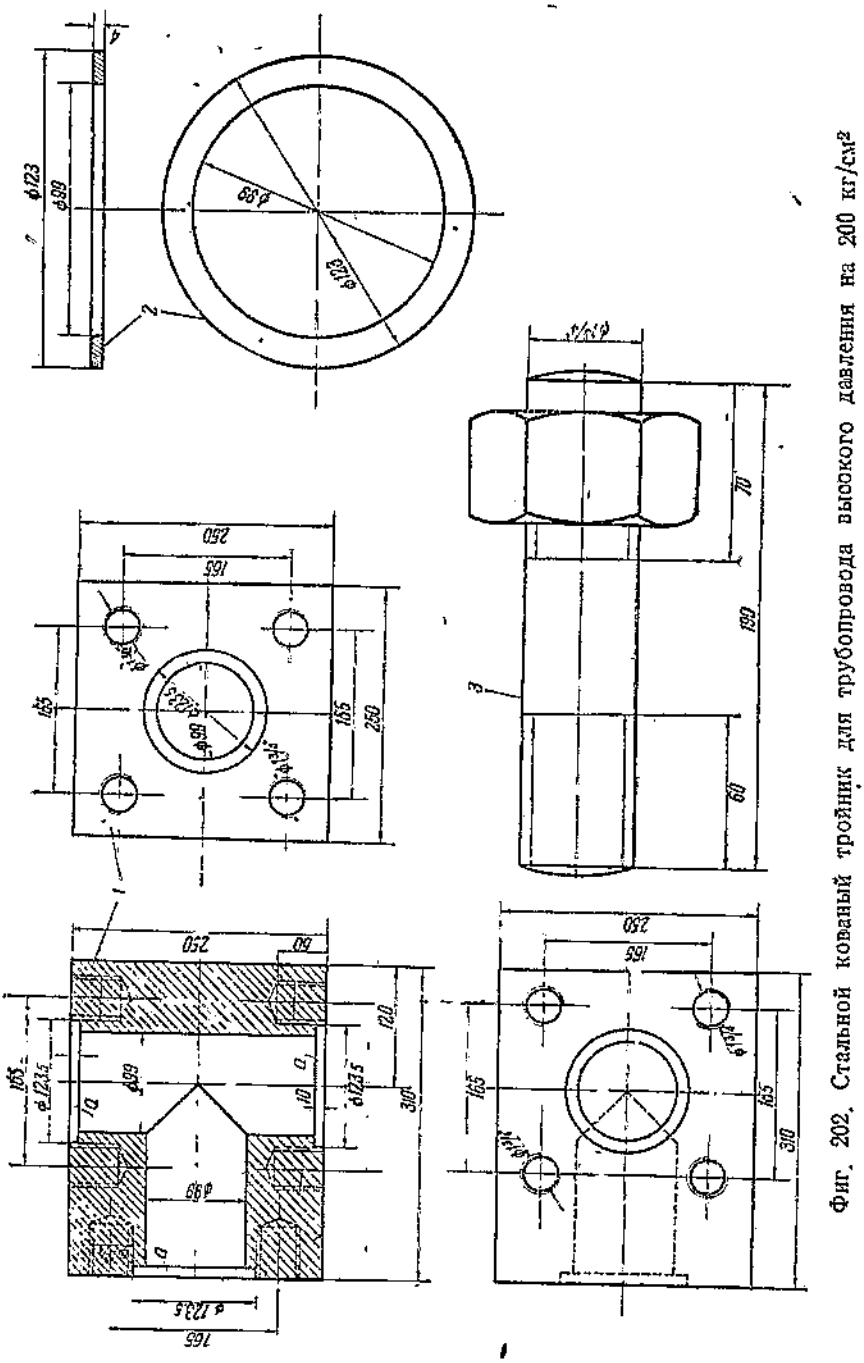
Фиг. 200. Соединение трубопроводов низкого давления



Фиг. 201. Стальной литой тройник для трубопровода низкого давления

для промывки бака, *d* — всасывающая труба к насосам, *e* — сетка для очистки воды, *f* — труба для подачи в случае необходимости в систему свежей воды.

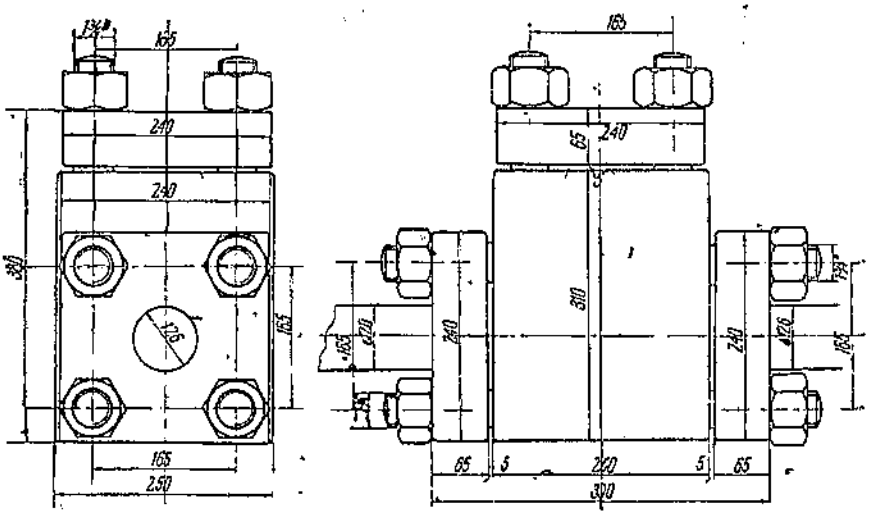
Если вода грязная, то такой простой очистки, как показано на этой фигуре, недостаточно, и приходится в баке устраивать отстойники для осадки ила и прочих частиц. Такой конструкции бак показан на фиг. 199. Здесь *a*—труба от прессов, *b*—сетка и фильтр для



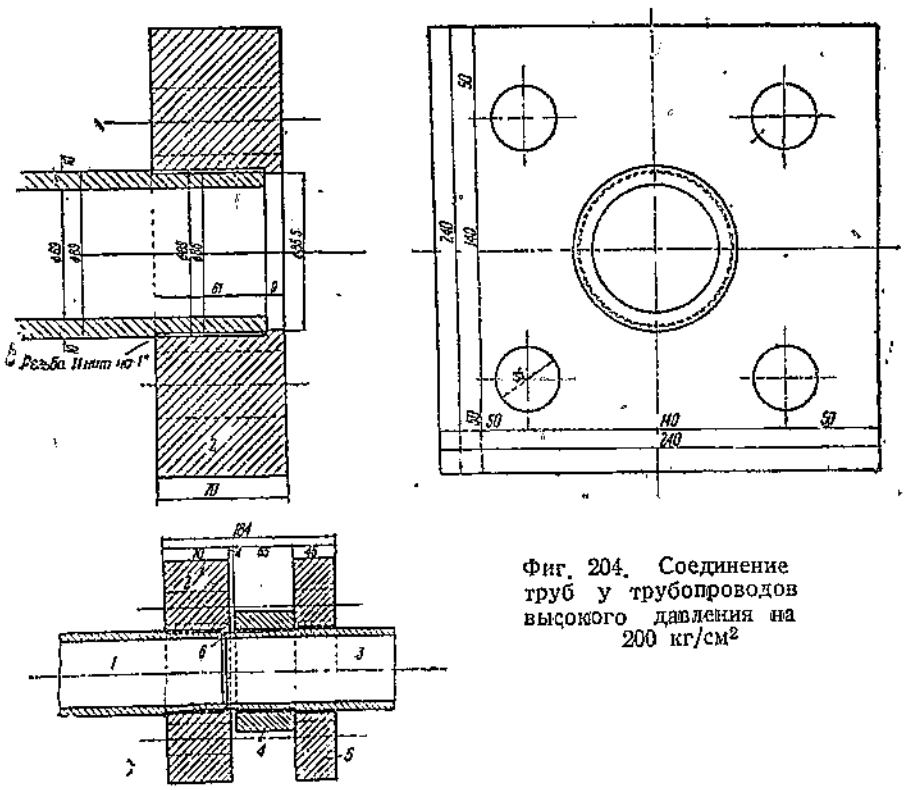
Фиг. 202. Стальной кованый тройник для трубопровода высокого давления на 200 кг/см²

очистки воды, *c*—карманы для грязи, *d*—трубки для удаления грязи из карманов, *e*—предохранительная сливная труба в канализацию, *f* — отстойники для осаживания грязи, *g* — фильтры, *h* — труба к насосам, *i*—труба для промывки бака, *k*—добавление свежей воды.

Для того чтобы судить о способах соединения труб низкого и высокого давлений, на фиг. 200—204 показано несколько таких типов. На фиг. 200 показано фланцевое соединение у 600-т вертикального пресса труб низкого давления диаметром 100×93 мм. К соеди-



Фиг. 203. Стальной кованый тройник с заглушкой и присоединением трубопроводов высокого давления на 200 кг/см² в собранном виде



Фиг. 204. Соединение труб у трубопроводов высокого давления на 200 кг/см²

няемым концам труб **1** и **2** приварены концы с фланцами **3** и **4**. На конце трубы **1** надет свободный фланец **5**, который при стяжке его с фланцем **4** с помощью шести болтов диаметром ⅞" нажимает на

фланец 3, а последний с силой зажимает клингеритовую прокладку 6 и тем создает плотное соединение. На фиг. 201 изображен стальной литой тройник, обычно применяемый также для соединения труб низкого давления. Приведенные примеры показывают, что такие соединения ничем не отличаются от обычных водо- и паропроводных трубопроводов, применяемых для давлений 15—20 кг/см².

Соединение трубопроводов высокого давления для достижения надлежащей надежности конструкции и плотности, естественно, значительно сложнее. Здесь уже не применимы литые части. Тройники, разные переходы и тому подобные детали изготовляют из хорошо прокованного куска стали, просверливая в нем необходимые проходы; фланцы, крышки и т. п. делают толстые, кованые; соединения труб значительно сложнее. На фиг. 202 показан такой стальной кованый тройник 1 для труб 123 × 99 мм, медное кольцо-прокладка 2 для закладки при соединении с трубами в гнездо а и шпилька 3 диаметром 1¾″ для присоединения этих труб. На фиг. 203 изображен такой тройник в собранном виде, причем один выход его закрыт наглухо крышкой. На фиг. 204 показано соединение труб высокого давления диаметром 89 × 69 мм у вертикального пресса. На трубе 1 на длинной резьбе (61 мм) в одиннадцать ниток на 1″ прочно навернут стальной кованый квадратный фланец 2. На трубе 3 также на длинной резьбе навернуто стальное кольцо 4 и, кроме того, свободно надет фланец 5. При стяжке фланцев 2 и 5 толстыми болтами входящий в расточку фланца 2 выступающий конец трубы 3 зажимает прокладочное кольцо 6; благодаря такой конструкции создается прочное и плотное соединение.

10. ВЕРТИКАЛЬНЫЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРИВОДНЫЕ КОЛЕНЧАТЫЕ ПРЕССА

Гидравлические пресса, как было сказано выше, требуют для работы целого ряда дополнительных и к тому же дорогих устройств: дистрибуторов, аккумуляторов, виндкесселей, насосов, трубопроводов высокого и низкого давления, баков и т. п. Все эти приборы, начиная от прессов, а в особенности аккумуляторных установок, находящихся под большим (200—300 и до 400 кг/см²) давлением, не лишены большого риска, требуют высококвалифицированного ухода, периодических осмотров, применения специальных сталей, и т. д.

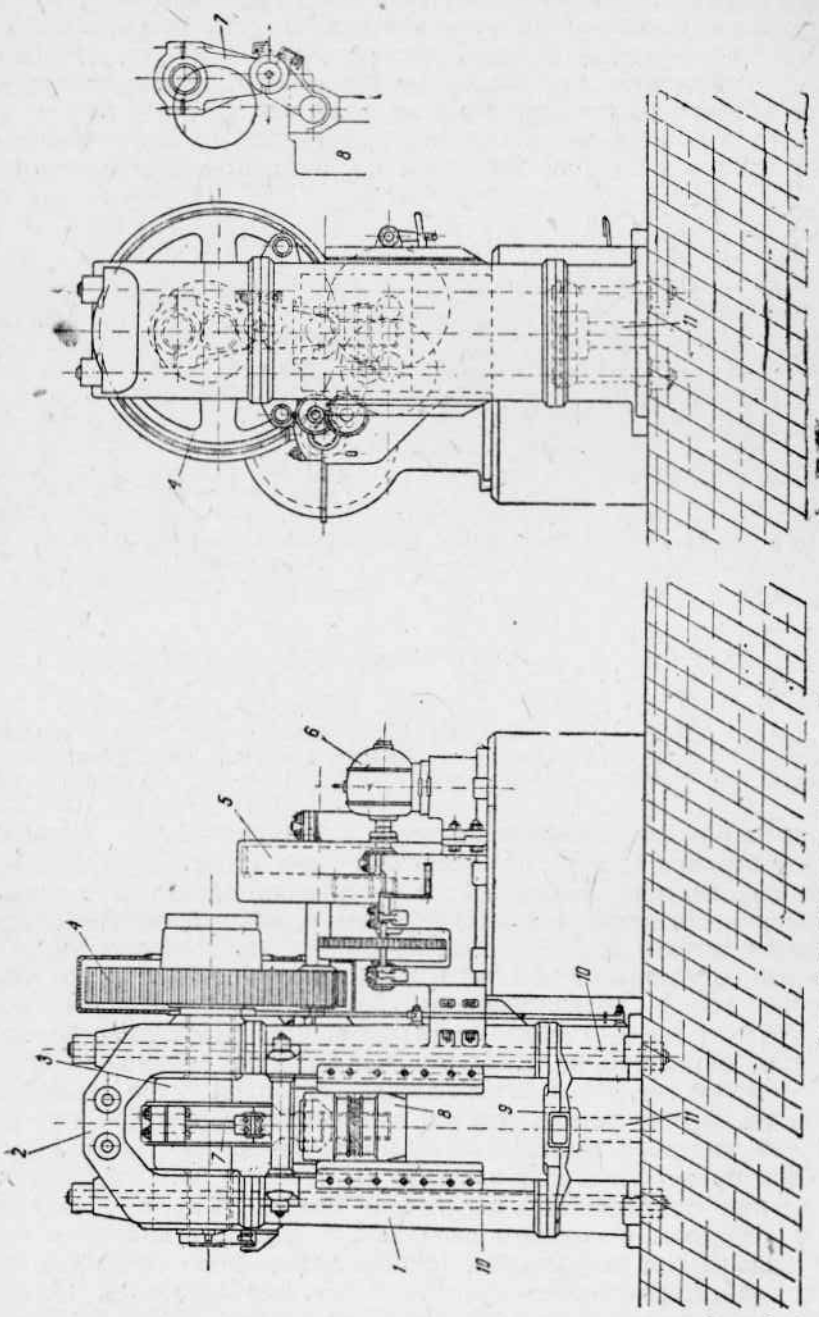
Естественно, техническая мысль давно уже начала стремиться к замене этих механизмов и приборов более простыми, дешевыми и безопасными в эксплоатационном отношении.

Таблица 26

Пресс т	Слиток или заготовка		Труба		Пресс-остаток %	Число прессовок в час	Шаг
	диаметр мм	длина мм	внутренний диаметр мм	толщина стенки мм			
300	60	150—160	16—30	1,0	4—5	60—80	3
600	100	190	30—40	1,5	4—5	40—60	3

Производительность и характеристика работы таких вертикальных прессов старой конструкции (1926 г.) с механическим приводом указана в табл. 26.

В то время число прессовок было одинаково с тем, которое давали и гидравлические пресса. Установка таких прессов чрезвычайно проста и производила благоприятное впечатление. Но эти пресса вследствие ненадежности конструкции примененных предохранителей часто



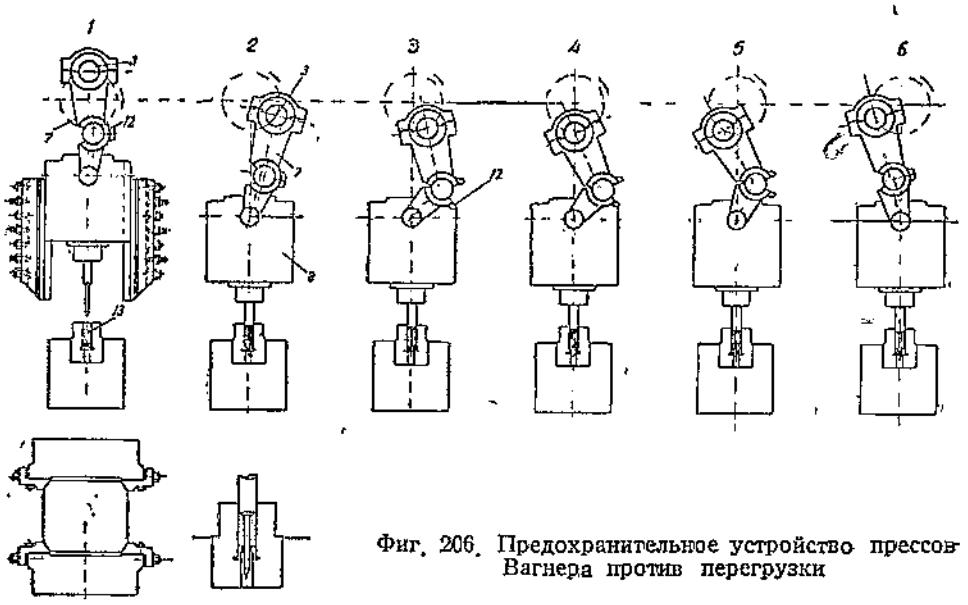
Фиг. 205. Коленчатый пресс Вагнера с индивидуальным мотором

выходили из работы при перегрузке. Если в контейнер гидравлического пресса подать слиток непрогретый, то он разовьет свое предельное давление и остановится. Никакой поломки при этом не произойдет. Не то при работе с механическими прессами. Они имеют довольно тяжелые маховики, поэтому их нужно обязательно снабжать предохранительными приспособлениями, которые при подаче холод-

ного слитка (и вообще при перегрузке) моментально выключили бы пуансон и тем предотвратили бы поломку. Отсутствие такого надежного приспособления препятствовало внедрению механических прессов в производство.

В последнее время появилось много предохранителей для этой цели, сделавших работу на механических прессах более возможной, но все же пока нельзя сказать, чтобы задача была совершенно решена, и потому хотя эти пресса в производстве применяются, но редко и особого распространения не получили [1].

На фиг. 205 показан общий вид механического коленчатого приводного пресса и на фиг. 206 — его предохранительного устройства.



Фиг. 206. Предохранительное устройство прессов Вагнера против перегрузки

Пресс представляет обычную конструкцию коленчатого приводного от электромотора пресса, применяемого при штамповке. Здесь **1** — станина со съемной крышкой **2**; **3** — коленчатый вал; **4** — тяжелое зубчатое колесо, служащее вместе с тем и маховиком; **5** — редуктор привода от мотора **6**; **7** — шатун; **8** — ползун, на котором укрепляется пуансон со вставленной в него иглой; расстояние от низа ползуна до стола может регулироваться при помощи отдельного небольшого мотора; **9** — гнездо, куда вставляется контейнер; **10** — сквозные болты, скрепляющие станину **1** и крышку **2** в одно жесткое целое; **11** — отверстие, через которое выпрессованная труба течет вниз в яму, как то обычно устраивается у вертикальных прессов.

Особый интерес представляет предохранитель, показанный на фиг. 206 и представляющий в сущности простой болт, который разрывается при определенной перегрузке пресса. Шатун **7**, связанный с одной стороны с коленом вала **3**, а с другой с ползуном **8**, сделан не цельным, а шарнирным, причем центр этого шарнира лежит не на прямой, соединяющей центр вала **3** и центр валика в ползуне **8**, а несколько в стороне от этой линии. Поэтому болт, вставленный в ушках **12** двух половинок шарнира, будет при работе всегда находиться под растягивающим напряжением. Если в контейнер будет подан непропретый слиток **13**, то игла пройдет через него или сло-

[1] Эти пресса начали применять для производства не только латунных, но и стальных труб из прошитой предварительно заготовки.

мается, пуансон ударится о поверхность слитка, предохранительный болт разорвется, вследствие этого шатун в шарнире согнется, и вал 3 свободно провернется без поломки пресса. Постепенный ход работы предохранителя показан на шести позициях шатуна. На поз. 2 пуансон дошел до слитка, на поз. 3 болт разорвался, шарнир раскрылся и вал свободно проворачивается далее. Особая патентованная муфта ставит ползун автоматически в верхнее положение.

Такие прессы строят давлением в 300, 600 и 1000 т. Характеристика и программа их работы приведены в табл. 27 и 27а.

Таблица 27

Характеристика вертикальных приводных прессов

№ по пор.	Показатели характеристики	Пресс, т		
		300	600	1000
1	Ход ползуна, мм	450	600	750
2	Число ходов в минуту	8	6	5
3	Расстояние в свету между стойками станины, мм	800	800	900
4	Наибольшее расстояние от стола до ползуна, мм	800–950	1020–1120	1150–1250
5	Главный мотор, мощность, л. с.	30	60	120
	с числом об/мин	1 000	1 000	1 000
6	Мотор для установки ползуна, мощность, л. с.	3	4	6
	с числом об/мин	1 500	1 500	1 500
7	Вес станка, кг	34 200	64 000	137 000

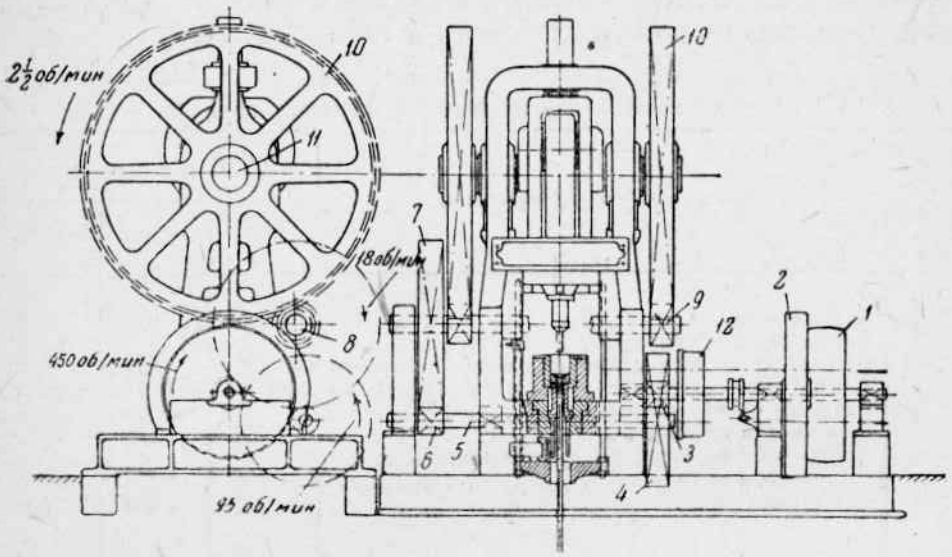
Таблица 27а

Программа работы вертикальных приводных прессов

№ по пор.	Пресс, т	Материал	Размеры прессуемых труб, мм		Размеры слитка или прессованной заготовки, мм	
			диаметр	толщина стенки	диаметр	длина
1	300	Медь	21 × 18	1,5	65	130
2	300	»	23 × 20	1,5	70	140
3	300	»	26 × 22	2,0	65	130
4	300	»	30 × 26	2,0	70	140
5	300	Латунь Л-62	18 × 16	1,0	60	120
6	300	» Л-62	23 × 20	1,5	70	140
7	300	» Л-62	26 × 22	2,0	65	130
8	300	» Л-62	30 × 26	2,0	70	140
9	300	» Л-70	18 × 15,5	1,25	60	120
10	300	» Л 70	26 × 22	2,0	65	130
11	300	» ЛМ-70	24 × 20	2,0	65	130
12	300	» ЛМ-70	26 × 22	2,0	65	130
13	600	Медь	26 × 23	1,5	85	170
14	600	»	28 × 25	1,5	85	170
15	600	»	34 × 30	2,0	100	200
16	600	»	50 × 46	2,0	100	200
17	600	Латунь Л-62	26 × 23	1,5	85	170
18	600	» Л-62	28 × 25	1,5	85	170
19	600	» Л-62	29 × 25	2,0	100	200
20	600	» Л-62	34 × 30	2,0	100	200
21	600	» Л-70	30 × 25	2,5	85	170
22	600	» Л-70	38 × 30	4,0	100	200
23	600	» ЛМ-70	33 × 28	2,5	85	170

Наибольшие размеры слитка для пресса 1000 т — диаметр 130 мм и длина 240 мм. Наименьшая толщина стенок латунных труб Л-62 наружным диаметром 28 мм и менее 1,0 мм, для меди 1,25 мм, для латуни Л-70 1,25 мм и для ЛМ-70 1,30 мм. Наименьший внутренний диаметр труб 15 мм.

Подобного же типа трубный пресс давлением в 600 т изображен на фиг. 207[1]. Пресс приводится в движение от мотора при помощи



Фиг. 207. Механический приводный от индивидуального мотора 600-т пресс Эванса с механизмом для прорезки и выбрасывания прессостатка

ременной передачи, причем первый вал делает 450 об/мин. На этом валу рядом со шкивом **1** посажен маховик **2**. Шестерня **3**, сцепленная с парной ей шестерней **4**, приводит во вращение второй вал **5**, делающий 95 об/мин. Сидящая на этом валу шестерня **6** передает при помощи шестерни **7** вращение валу **8**, делающему 18 об/мин. На обоих концах этого вала посажены шестерни **9**, находящиеся в зацеплении с шестернями **10**, сидящими на концах коленчатого вала **11** пресса и дающими ему всего 2,5 об/мин. Для включения и выключения пресса на главном приводном валу установлена фрикционная расцепная муфта **12**.

Пресс этот имеет предохранители против перегрузки во избежание поломки, а также снабжен специальным механизмом для просечки и удаления из контейнера прессостатка.

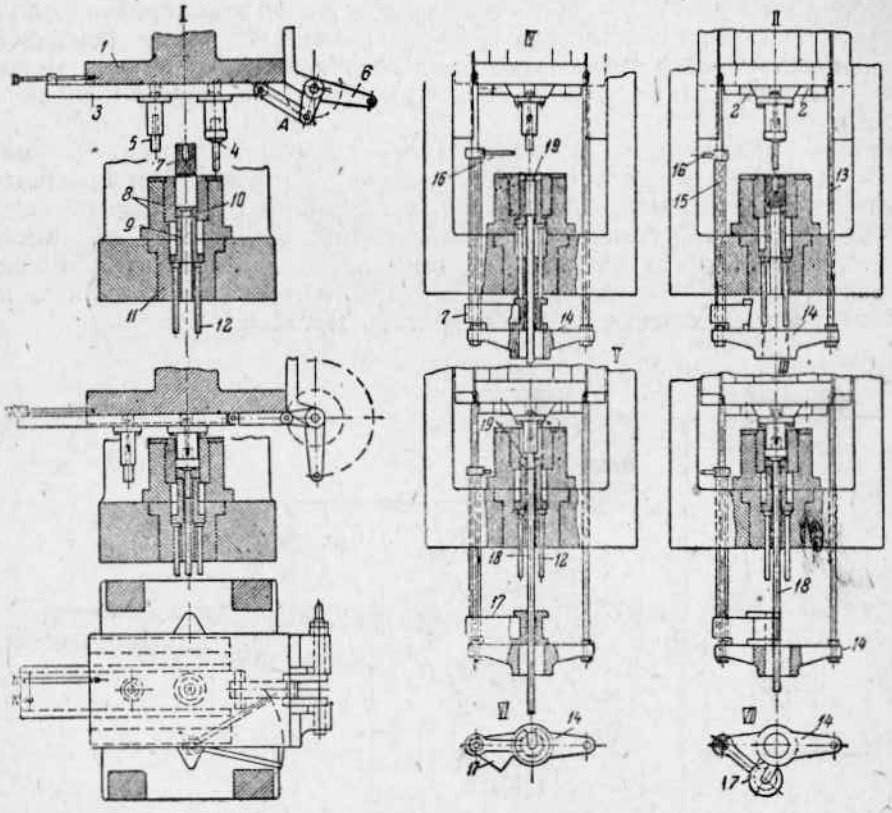
Механизм этот изображен на фиг. 208 и состоит из следующих деталей. На ползуне пресса **1** снизу в особых направляющих **2** может передвигаться супорт **3**, в котором укреплен рабочий пуансон с иглой **4** и просечной пуансон **5**. Передвижение супорта **3** производится с помощью рукоятки **6**. На поз. I показан момент, когда центрованный слиток **7** диаметром 150 мм и длиной 200 мм подается в контейнер **8**, в котором на особой втулке **9** установлена матрица **10**. Втулка **9** упирается своим фланцем в дно второй втулки **11**, заложенной в станине пресса. Снизу во фланец втулки **9** завернуты два стержня **12** — экстракторы.

В ползуне **1** укреплены на резьбе (поз. II) две тяги **13**, проходящие свободно через отверстие в станине пресса. На концах этих

[1] G. Evans, Metallurgia, 1934, Febr., p. 118, fig. 5.

тяг **13** подвешена поперечина **14**, которая нормально не касается экстракторов. На левой тяге **13** надета труба **15** с рукояткой **16**, на конце ее внизу укреплен замок **17**, который с помощью рукоятки **16** может быть отведен от поперечины **14** так, как то показано на поз. **VII**, а может быть и введен, как показано на поз. **VI**.

Когда слиток введен в контейнер, супорт **3** сдвигается рукояткой **6** так, что по оси его станет пуансон с иглой **4**, и ему дается ход



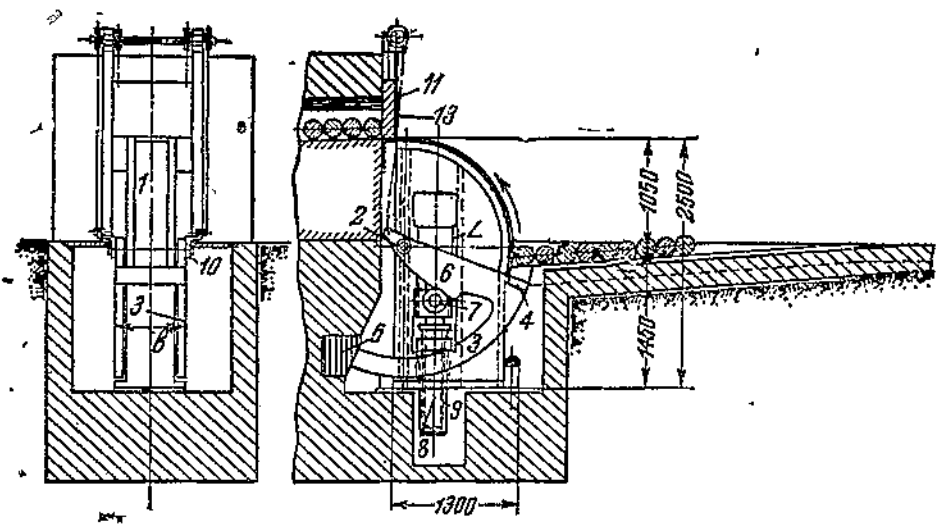
Фиг. 208. Детали механизма для просечки и выбрасывания прессостатка к прессу, показанному на фиг. 207

вниз (поз. **II** и **III**), слиток прошивается иглой и пуансоном выпрессовывается труба. Прессостаток **19** на конце трубы остается в контейнере. Для его отделения после подъема ползуна **1** супорт **3** сдвигается так, что в контейнер при опускании ползуна войдет просечный пуансон **5** (поз. **IV**). Он отделит трубу от прессостатка, и труба уйдет вниз (поз. **V**). Тогда вводится замок **17** (поз. **VI**), ползуну дается ход вверх, поперечина **14** нажмет на замок **17**, он поднимет вверх экстракторы **12**, втулку **9** с матрицей **10** и прессостатком **19** (поз. **IV**), откуда он свободно сбрасывается в сторону.

11. ПЕЧИ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ПРИ НИХ

Печи для нагрева слитков при прессовании, обычно ролевые, устраивают с нефтяным, газовым или пылевидным отоплением. В последнее время все больше стали входить в заводскую практику электрические печи. Эти печи, действительно, имеют большие преимущества перед остальными (простота устройства, отсутствие дымовых труб, возможность устанавливать печи у прессов посреди мастерской, не препятствуя обслуживанию ее проходящими вдоль мастерской кранами, простота ухода, полная гарантия равномерности и надлежащей температуры, не допускающей перегрева металла и, следовательно, возможность получения его высших качеств и т. п.).

Кроме того, печи сопротивления обладают еще одним большим преимуществом. Давая чистую омическую нагрузку, они прекрасно регулируют электрическую нагрузку и улучшают косинус φ всего завода, что весьма благоприятно отзывается на работе электрической станции. Расход энергии в этих печах составляет для меди 120 квт-ч, латуни 100 квт-ч, дуралюмина 190—200 в больших и до 240 квт-ч в малых печах на 1 т нагретого металла.



Фиг. 209. Механизм Эймуко для загрузки слитков в печь

Печи газовые питаются обычно уже готовым горючим, т. е. газом, смешанным с воздухом. Газ, идущий под давлением, проходит через редуктор, понижающий его давление до атмосферного, и в вентиле особой конструкции смешивается с воздухом, после чего вентилятором подается в резервуар-регулятор, поддерживающий в сети постоянное давление. В случае повышения давления особый клапан перепускает газ во всасывающую трубу вентилятора, в это время не получающего свежего газа для смешивания. Смесь обычно имеет теплотворную способность около 2000 кал/м³; в таком состоянии она мало взрывчата, в трубах находится под давлением около 1500 мм вод. ст. и в таком виде вводится с большой скоростью в горелки, куда присасывается и дополнительный воздух. Горение происходит за сеткой горелки коротким пламенем. Такие печи дают хороший нагрев, позволяют держать в печи желаемую атмосферу, прекрасно регулируются, удобно обслуживаются, и также не требуют дымовых труб и т. п.

Не останавливаясь на конструкции и расчете печей подробно, считаем необходимым рассмотреть механические приспособления у печей для загрузки слитков в печь, продвижения их вдоль печи, выгрузки их и подачи к прессам.

Подобного типа устройства показаны на фиг. 209—219.

На фиг. 209 изображен механизм для автоматической загрузки слитков в печь. Он состоит из установленной на фундаменте станины, имеющей в верхней своей части дугообразные направляющие **1**, по которым слитки подаются в печь. Около оси **2**, проходящей в этой станине, могут вращаться две дуги **3**, имеющие впереди упорный брусок **4** и опирающиеся сзади при отходе дуги в нижнее положение на эластичный упор **5**. Специальной формы пластины **6**, составляющие радиусы дуг **3**, имеют снизу опорные дуги, к которым подходят ролики **7**, насаженные на траверсе плунжера **8** гидравлического цилиндра **9**. При подъеме плунжера **8** ролики **7** поворачивают около оси **2** дуги **3**, брус **4** захватывает один слиток с наклонного стола и поднимает вверх к загрузочному окну ролевой печи. В это время рычаги **10**, составляющие концы радиальных пластин **6**, отходят вниз, тянут канаты **11**, идущие через ролики **12** к подъемным дверцам **13**, последние открываются и в это время слиток вводится в печь. Дуги **3** отходят назад, захватывают второй слиток и т. д.

Такой механизм имеет производительность, приведенную в табл. 28.

Таблица 28

Размеры слитка, мм		Подача слитков в час	Вес механизма кг
диаметр	длина		
195	500	70	2500
220	600	60	3000
250	700	60	3500
360	800	50	4000
400	900	40	4500

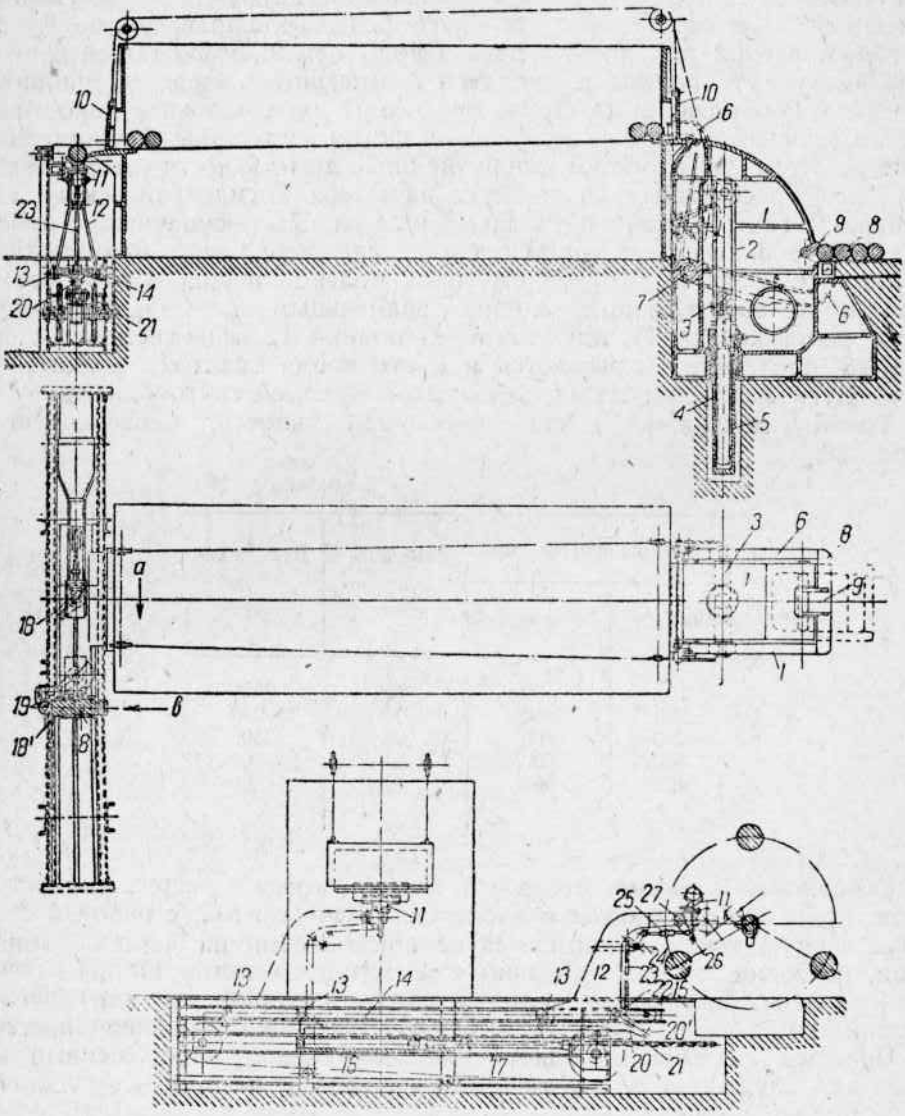
Совершенно понятно, что в тот момент, когда с загрузочной стороны поднимаются дверцы и вводится в печь слиток, с рабочей стороны дверца также поднимается не показанными на чертеже канатами, движение которых увязано с движением канатов **11**, и из печи автоматически выталкивается один слиток, который тем или другим механизмом должен быть также быстро подан к контейнеру пресса.

Простым и удачным является также механизм, изображенный на фиг. 210, служащий и для загрузки слитков в печь, и для выдачи их и подачи к прессу.

Первая часть механизма подобна описанному выше устройству и состоит из чугунного литого корпуса **1**, в пазах которого **2** ходит траверса **3**, укрепленная на верхнем конце плунжера **4**, ходящего в гидравлическом цилиндре **5**. Два рычага **6**, соединенные брусками **8**, вращаются около оси **7** и подают этими брусками слитки в ролевую печь. При подъеме слитка вверх двуплечий рычажок **9** поворачивается в указанное пунктиром положение и удерживает слитки на плите перед загрузочным аппаратом.

При включении цилиндра **5** система рычагов и канатов при приближении слитка к загрузочному отверстию печи открывает дверцу **10** и со стороны загрузки, и со стороны выдачи слитков. Один сли-

ток вводится в печь, а другой автоматически выталкивается на специальную подставку **11**, могущую вращаться около вертикальной оси. Указанная подставка **11** находится наверху специальной тележки **12**, ролики которой **13** катятся по балочкам **14** при передвижении тележки к прессу, причем для переднего ролика предельным положением является положение **15**. Это передвижение совершается гид-



Фиг. 210. Механизм «Гидравлик» для загрузки слитков в печь и подачи их из печи к прессу

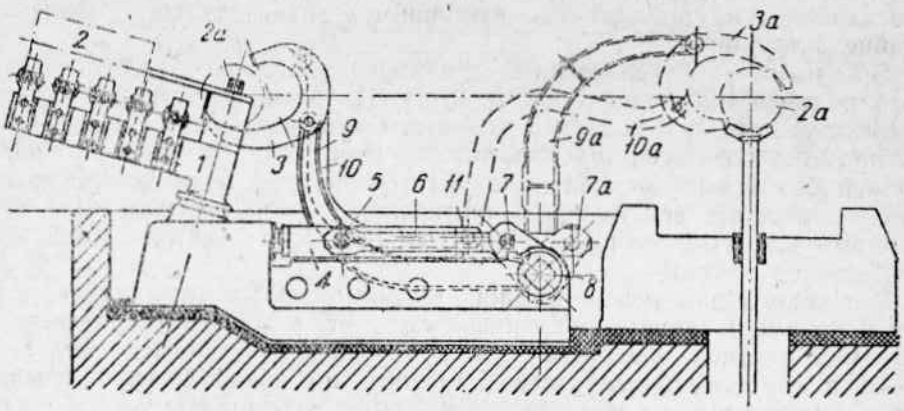
равлическим цилиндром **16**, плунжер которого **17** связан с тележкой **12**. Обратный ход тележки осуществляется с помощью стальных канатов, проходящих по видимым на чертеже блокам, и чугунных противовесов.

Вращающаяся поддержка **11** снабжена специальной ловушкой **18**. При передвижении тележки к прессу ловушка своим вырезом попадает на ролик **19**, которым и поворачивается в положение **18'**, так

что слиток, идущий по стрелке *a*, поворачивается на 90° и далее движется по стрелке *b* в том положении, в каком он попадает в контейнер.

Для перегрузки слитка с подставки **11** на поддерживатель у пресса имеется специальный механизм, управляемый роликом **20**, идущим по направлению **21**. Когда последний ролик **13** попадает в положение **15**, ролик **20** сходит вниз по направляющей **21** в положение **20'**, вследствие чего рычаг **22** поворачивается, тянет вниз тягу **23**, которая поворачивает в свою очередь рычаг **24**. Этот последний тягой **25** и рычагом **26** поворачивает подставку **11** около горизонтальной оси **27**, вследствие чего слиток удобно передается на поддерживатель пресса, как изображено пунктиром на проекции справа.

На фиг. 211 изображен механизм другой конструкции для подачи слитков от печи к контейнеру горизонтального пресса. Около печи, имеющей в конце сильно наклонный жолоб к рабочему окну, через



Фиг. 211. Механизм для подачи слитков к контейнеру пресса

который слитки выдаются к прессу, на особой станине устанавливается на наклонной оси **1** небольшой роликовый стол, на который и попадает слиток **2** по выдаче его из печи. Столик со слитком поворачивается около наклонной оси, вследствие чего слиток из положения **2** попадает в положение **2a**, в каковом и скатывается в зев приемника **3**. Гидравлический цилиндр с ползуном **4**, к которому валиком **5** присоединен шатун **6**, связан с кривошипом **7**, сидящим на валу **8**. На этом же валу закреплены два рычага **9**, а один рычаг **10**, находящийся между ними, вращается около валика **11** в неподвижной стойке. Очевидно, что при движении ползуна **4** и шатуна **6** вправо кривошип **7** повернется на 90° и придет в положение **7a**, отчего валик **8** тоже повернется на 90°. Тогда рычаги **9** валиком **8** будут тоже повернуты на 90° и придут в положение **9a**. Так как рычаг **10** вращается около неподвижного валика **11**, то рычаг **10** придет в положение **10a**, отчего приемник **3** переворачивается в положение **3a** и выдает слиток **2a** на стойку перед контейнером пресса. Механизм этой конструкции надежен и хорошо работает на одном из наших заводов при прессе в 3000 т.

На фиг. 134 изображен иной конструкции хорошо работающий механизм для подачи слитков в контейнер 2400-т пресса. Тележка механизма **1** движется по железной конструкции **2** при помощи двух цепей Галля **3** от мотора **4**. При подходе тележки к контейнеру вертикальная стойка тележки с платформочкой и слитком автоматически

поворачивается на 90°, слиток устанавливается по оси контейнера и рычагом 5 вталкивается прямо в контейнер.

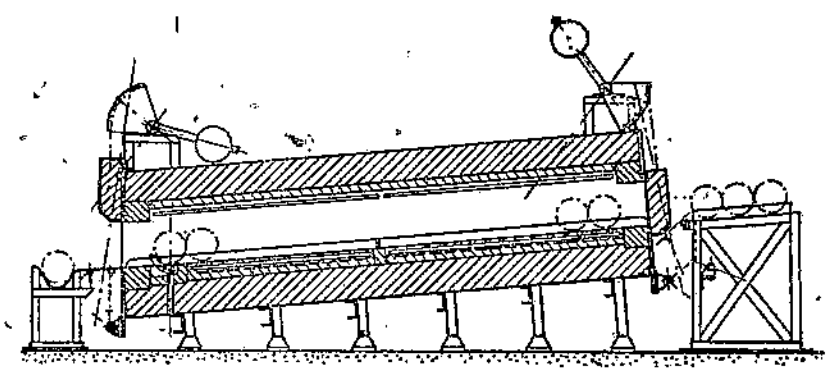
Поэтому при таком загрузочном механизме особого столика для укладки слитка перед контейнером не требуется. Подъем и опускание платформочки в зависимости от диаметра слитков производится рукояткой 6.

На фиг. 136 изображен другой конструкции также хорошо работающий механизм при 5000-т прессе для производства прутков и профилей из дуралюмина и электрона. При продвижении плунжера и связанной с ним втулки 1 вперед, рычаг 2 при помощи идущей на рейке зубчатой шестерни поворачивается и подводит слиток, поданный от печи на платформу 3, по оси контейнера. Вталкивание слитка в контейнер при этом механизме производится пуансоном.

Описанные устройства, конечно, наиболее удобны и применимы при мощных прессах, работающих с тяжелыми слитками, подача которых обычным способом с помощью клещей, подвешенных к двигающейся на роликах по воздушному пути тележке, была бы крайне затруднительна.

При работе с более легкими слитками возможно обходиться простой подачей их по воздушному пути. Наконец, при работе на вертикальных прессах, заготовка которых очень легка, подача ее из печи прямо в контейнер производится рабочим с помощью ручных клещей без всякой механизации. В этом случае печи устраиваются около самых прессов на таком расстоянии, чтобы рабочий мог взять клещами заготовку из печи и простым поворотом корпуса подать ее в контейнер пресса.

Механизмы для передвижения нагреваемых слитков вдоль печи применяются различные в зависимости от температуры нагрева и размеров слитков. Крупных размеров медные, латунные, мельхиоровые и тому подобные слитки для горизонтальных прессов обычно перекатываются под влиянием собственного веса по наклонному поду (гравитационный тип подачи), так как температура нагрева в 750—900° заставляет держать в печи температуру 900—1000°, при которой всякого рода механизмы быстро выходят из строя.

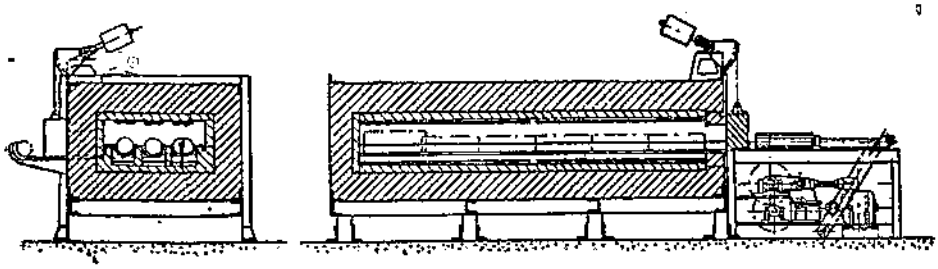


Фиг. 212. Печь для нагрева слитков с гравитационной подачей — под собственным весом (слитки расположены поперек печи)

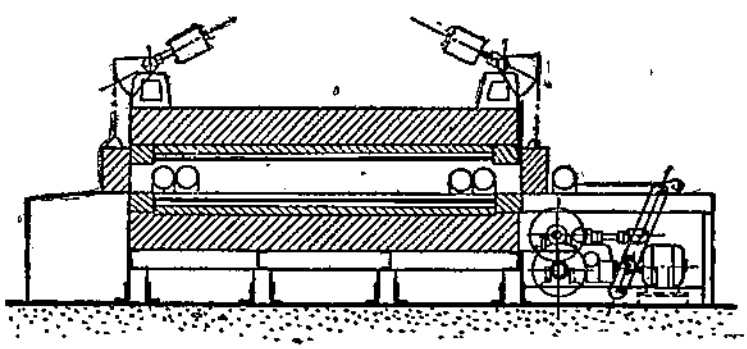
Такой тип печи для нагрева медных и латунных слитков показан на фиг. 212. Конечно, такая печь может быть применена и для нагрева алюминиевых слитков (температура нагрева до 500°), но лучше в этом случае применять печи с механизированной подачей. При нагреве алюминиевых слитков диаметром 500 мм и длиной 1000 мм

двухкамерная печь такого типа длиной 12 м, мощностью по 500 квт каждой камеры дает 3 т слитков в час [1].

На фиг. 213 показана печь, применяемая при вертикальных прессах для нагрева небольших слитков легких сплавов. Здесь нарезанные короткие куски слитков или отпрессованных прутков движутся по параллельно уложенным на поду печи желобам и проталкиваются вдоль печи так называемым «пушером», приводимым в движение от видимого на фигуре электромотора или при помощи сжатого воздуха. В литературе встречаются указания [1], что во Франции имеется такого типа печь мощностью в 180 квт; слитки в ней движутся в шестнадцать рядов, расположенных в несколько этажей в нагревательной камере.



Фиг. 213. Печь для нагрева слитков с толкателем (слитки расположены в три ряда вдоль печи)



Фиг. 214. Печь для нагрева слитков, уложенных на подкладках (башмаках)

На фиг. 214 изображена такая же печь для нагрева алюминиевых слитков, но слитки в ней движутся на поддонах, что предупреждает повреждение их поверхности (забоины, царапины и пр.).

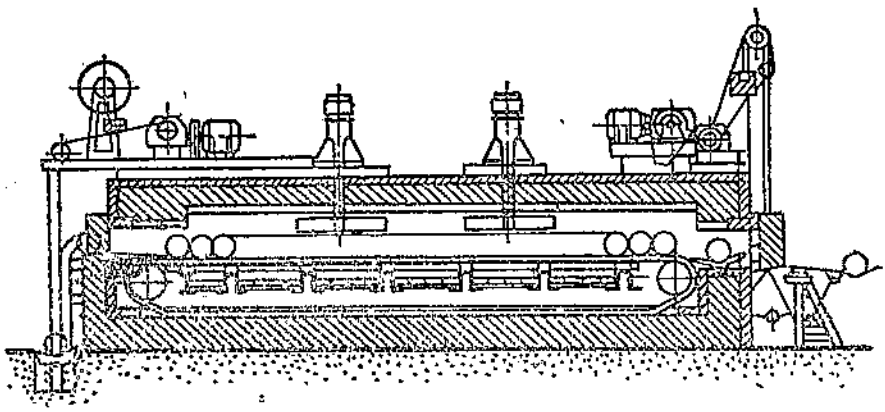
На фиг. 215 дан эскиз конвейерной печи для нагрева алюминиевых сплавов крупных слитков. Цепи ее сделаны из жароупорной стали. Длина печи 5,2 м. Печь вмещает 46 слитков диаметром 225 и длиной 915 мм, имеет производительность 750 кг в час и расходует электроэнергии 250 квт-ч на 1 т нагретого [1].

На фиг. 216 дан эскиз механизма для передвижения крупных слитков. Он состоит из двух цепей, идущих в двух боковых каналах из жароупорной стали; между цепями вставлены валики с роликами, которые и заставляют слиток в печи поворачиваться и двигаться вдоль подины, по уложенным специальным балочкам.

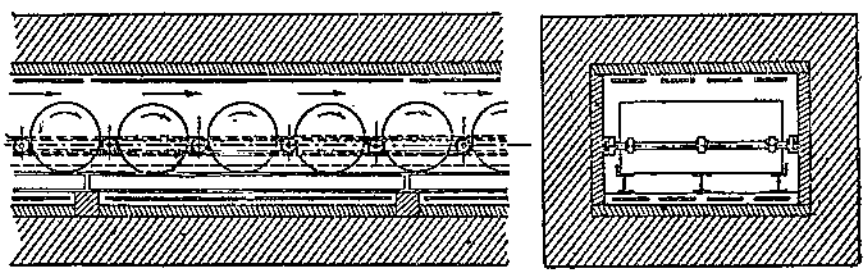
---

[1] Dr.-Ing. H. G. Linder, Developments in Electric Billet Heating Furnaces for Extrusion Presses. Metallurgia, 1939, June, v. 20, № 16, p. 53—56.

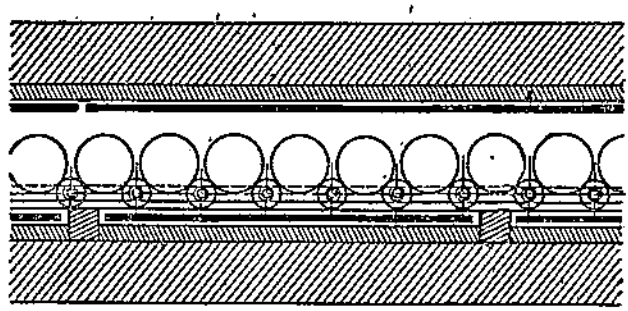
Фиг. 217 представляет улучшенную конструкцию такого же механизма конвейера. Здесь слитки не соприкасаются ни с подиной печи, ни с рельсами. Они лежат на роликах, надетых на валики с распор-



Фиг. 215. Конвейерная печь с цепной подачей



Фиг. 216. Механизм для передвижения крупных слитков в конвейерной печи



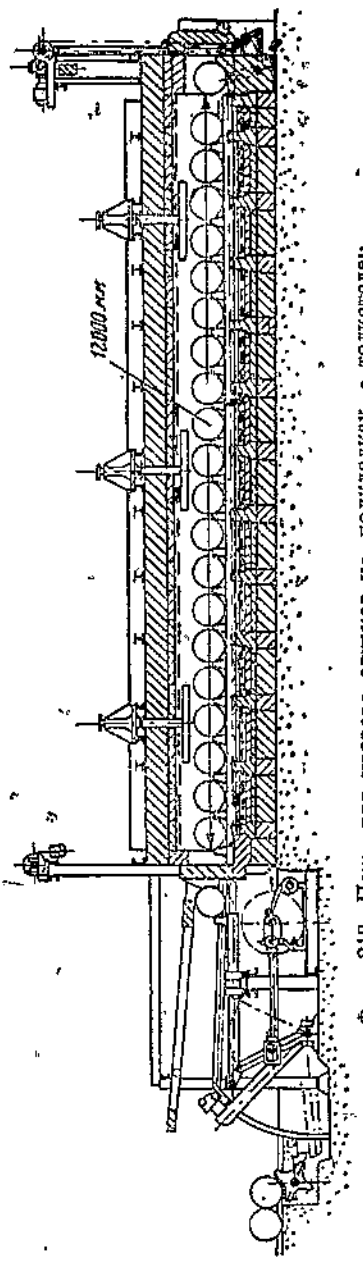
Фиг. 217. Механизм для передвижения слитков в конвейерной печи

ными трубками, и при движении цепей вдоль печи поворачиваются на этих роликах. Совершенно понятно, что прогрев в такой печи слитков, не соприкасающихся с подиной, получается более равномерный.

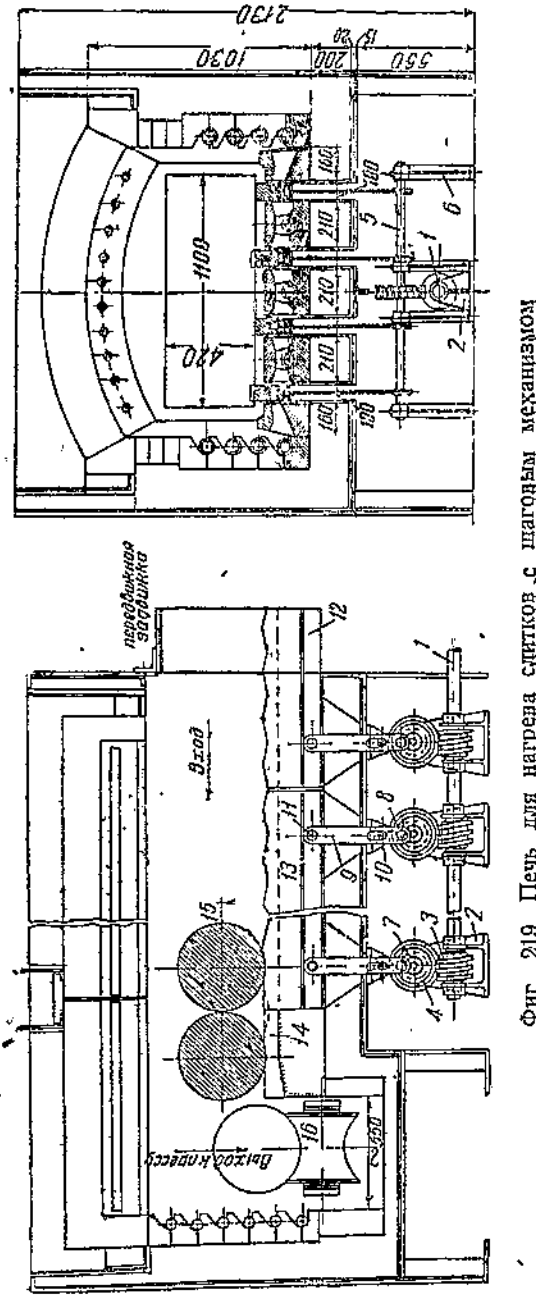
На фиг. 218 показана одна из печей, обслуживающих 5600-т пресс, установленный в 1937 г. на одном из английских заводов для производства дуралюминовых профилей длиной до 18,2 м из слитков диаметром 500 мм и весом 725 кг (1600 фун.). Производительность такой печи длиной 11,9 м и мощность 600 квт равна 3 т дур-

алюминиевых слитков в час[1]. Работа пушера, загрузочных и выгрузочных дверец и подачи синхронизирована электрически.

На фиг. 219 показан шаговый механизм для передвижения вдоль печи дуралюминовых слитков диаметром от 170 до 420 мм и длиной до 1100 мм. Печь мощностью в 440 квт обслуживает горизонтальный пресс давлением в 3000 т. Сопротивления в печи, как то видно на поперечном разрезе, уложены в стенках, а равномерно в поду и в своде.



Фиг. 218. Печь для нагрева слитков на подкладках с толкателем



Фиг. 219. Печь для нагрева слитков с шаговым механизмом

[1] См. сноску на стр. 199.

Державна бібліотека імені ЛЕНІНА

Шаговые механизмы, производящие передвижение слитков вдоль печи, бывают разных конструкций. Представленный на фиг. 219 механизм устроен и работает следующим образом.

Идущий вдоль печи приводной вал 1 вращается в подшипниках 2, между которыми на валу 1 насажены на шпонках червяки 3, сцепляющиеся с червячными колесами 4. Эти колеса насажены на валиках 5, вращающихся в подшипниках 6. На валиках 5 сидят на шпонках диски 7 с пальцами 8, на которых надеты концы шатунов 9. По середине этих шатунов имеются продолговатые дыры, в которые вставлены неподвижные валики 10. Верхние концы шатунов 9 валиками 11 связаны с коробчатыми балочками 12, в которые вставлены гребенки 13. Благодаря такому устройству, при котором диски 7 с пальцами 8 насажены на валики 5, так что одна пара шатунов находится в верхнем, а вторая в это время в нижнем положении, гребенки 13 описывают некоторую дугу над подом печи, поднимают слиток 15, переносят его на один шаг гребенки вперед и опускаются вниз. Другая пара гребенок 14, приняв слиток, таким же образом передает его далее, пока, наконец, слиток не дойдет до конечного положения. Тогда движением гребенки он выдается на ряд роликов 16, идущих в печи наклонно к рабочей дверце, через которую слиток и попадает на роликовый столик 1 описанного выше на фиг. 211 механизма для подачи его в пресс. Совершенно понятно, что подобное шаговое устройство возможно только в печах, работающих при невысоких температурах. В печах с высокой температурой слитки подаются к рабочему отверстию с помощью обычных электрических, гидравлических или пневматических толкателей.

ГЛАВА III

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА

1. МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ, ДОПУСКАЮЩИЕ ОБРАБОТКУ ПРЕССОВАНИЕМ

Обрабатывать прессованием можно не только такие металлы и сплавы, которые обладают высокими пластическими свойствами, как: медь, латуни фаз α и $(\alpha + \beta)$, простые и сложные латуни типа морской, медноникелевые сплавы, цинк, олово, свинец, алюминий и его сплавы, но наряду с этим и такие металлы и сплавы, которые не допускают при прокатке больших обжатий. Например, электрон при прокатке слитка допускает за проход небольшие обжатия, примерно 20—25%, и в то же время при прессовании его возможны обжатия в 95—97%. Это представляет большое преимущество обработки металлов и их сплавов прессованием.

Наименование, марки и состав наиболее часто применяемых для прессования металлов и сплавов приведены ниже в табл. 29.

Таблица 29

Наиболее часто применяемые для прессования металлы и сплавы, температура нагрева слитков и их химический состав

№ по пор.	Наименование и состав	Температура нагрева слитков, °С	Химический состав [1], %
1	Медь на прутки	775—825 825—900	Медь: М1 99,9 Cu » М2 99,7 Cu
2	» » трубы	650—750	» М3 99,5 Cu » М4 99,0 Cu
3	» марганцовистая	825—900	99 Cu; 1 Mn
4	» кадмиевая	850—900 675—725	99 Cu; 1 Cd
5	Латунь Л-59	600—700 725—775	57—60 Cu; Zn ост.
6	» ЛС-59	600—650 675—725	57—60 Cu; 0,8—1,9 Pb; Zn ост.
7	» Л-62	650—750	60,5—63,5 Cu; Zn ост.
8	» ЛМ-62	725—775	61—63 Cu; 1—1,5 Sn; Zn ост.
9	» Л-68	725—800 700—750	67—70 Cu; Zn ост.
10	» ЛМ-70	780—850 680—720	69—71 Cu; 1—1,5 Sn; Zn ост.

(Продолжение табл. 29)

№ по пор.	Наименование и состав	Температура нагрева слитков, °С	Химический состав [1], %
11	Латунь Л-70	780—850	69—71 Cu; Zn ост.
12	» ЛТ-90	855—895	89—91 Cu; Zn ост.
13	» марганцовистая ЛМц	730—780	57—60 Cu; 1—2 Mn; Zn ост.
14	» ЛС-64 $\left(\frac{2}{1}\right)$	790—800	63—66 Cu; 1,6—2,1 Pb; Zn ост.
15	» ЛС-63 (2/3)	790—800	62—65 Cu; 2,4—3,0 Pb; Zn ост.
16	» дельта (ЛСЖ-59)	730—780	56—58 Cu; 0,7—1,3 Pb; 0,7—1,3 Fe Zn ост.
17	» Тобина ЛТОБ	750—800	59—61 Cu; 1—1,5 Sn; Zn ост.
18	Бронза алюминиевая БрА10	800—850 755—865	9—11 Al; Cu ост.
19	» БрАЖМц 10-4-1	700—750	9—11 Al; 2—4 Fe; 1—2 Mn; Cu ост.
20	» КВ	700—750	58—60 Cu; 2—2,5 Ni; 2,2—3 Al; Zn ост.
21	» ЛЖМ	700—750 600—700	58—60 Cu; 0,5—0,6 Sn; 0,1—0,2 Al; 1,1—1,5 Fe; 0,5—0,8 Mn; Zn ост.
22	» БрАЖ 9-1	750—770	8,5—10,5 Al; 1,5 Fe; Cu ост.
23	» Карро БрОФ 6-0,1	750—770	6—7 Sn; $<$ 0,1 Pb; Cu ост.
24	» бериллиевая БрБ2	1000—1100	2—2,6 Be; Cu ост.
25	Никель	1000—1100 1000—1100	98,5 Ni
26	Мельхиор Мх 80-20	800—850	18,5—20,5 Ni; 0,5—1,0 Fe; Cu ост.
27	Монель-металл Мон 68	900—1000	65—70 Ni; 2—3 Fe; 1,2—1,8 Mn; Cu ост.
28	Куниаль	900—1000	12—15 Ni; 2,3—3 Al; $<$ 1,0 Fe; $<$ 0,5 Mn; $<$ 0,002 Pb; Cu ост.
29	Алюминий А1 и А2	335—465 320—350	
30	Дуралюмин [2] нормальный (Д17)	440—495 360—380	3,5—4,5 Cu; 0,4—0,8 Mn; 0,4—0,8 Mg 0,2—0,6 Si; 0,2—0,6 Fe; Al ост.; всех примесей не более 1,7%
31	Дуралюмин с большим содержанием Mg (Д16) [2]	440—495 360—380	3,6—4,7 Cu; 1,25—1,75 Mg; 0,3—0,9 Mn ост. как и 30
32	Супердуралюмин [2]	400—450 360—380	4,6—5,2 Cu; 0,8—1,2 Mn; 0,7—1,0 Mg Al ост.
33	Электрон [3]	320—360 220—320	[1] 6—7 Al; 0,8—1,2 Zn; 0,3—0,6 Mn; 0,01—0,03 Be; 0,2—0,35 Ti; Mg ост 3,8—4,2 Al; 0,8—1,2 Zn; 0,2—0,35 Mn 0,03—0,07 Be; Mg ост. 1,3—1,7 Mn; Mg ост.

Примечание. При температурах, указанных в виде дроби, числитель—для горизонтальных прессов, знаменатель—для вертикальных.

[1] Химический состав приведен по данным Справочника по цветным металлам, изд. Главцветметобработки, 1938, а также Справочника-каталога по деформируемым легким сплавам, изд. Металлообрабатывающего завода, 1940 г.

[2] Справочник-каталог по деформированным легким сплавам, Металлообрабатывающий завод, 1940, стр. 112.

[3] С. М. Воронов и И. И. Градусов, Справочник по свойствам и применению цветных металлов и их сплавов, 1936, стр. 408.

Выше уже отмечалось, что все металлы и сплавы представляют разное сопротивление деформации и по трудности прессования могут быть разделены на следующие четыре класса:

1) легко прессуемые — олово, цинк, алюминий, мунц и латунь с содержанием меди не свыше 60%;

2) нормально прессуемые — латунь с содержанием меди не свыше 63%, чистая медь, некоторые алюминиевые сплавы;

3) ненормально прессуемые — латунь с содержанием меди 65—70%;

4) тяжело прессуемые — морская латунь 70/29/1, медноникелевые и бронзовые сплавы, дуралюмин и прочие сплавы подобного же типа.

Совершенно понятно, что в связи с этим получить из всех металлов и сплавов изделия одинаковой толщины совершенно невозможно. Чем сплав более тяжело прессуется, тем толще приходится делать стенку трубы или профиля во избежание брака и принимать ряд других мер, так как в противном случае получаются поверхностные трещины, надрывы, сквозные прорывы стенок и тому подобный брак. При работе с тяжело прессуемыми сплавами приходится брать слитки более короткие, чтобы не дать материалу «замерзнуть» в контейнере и, таким образом, иметь возможность выпрессовать его с минимальным остатком.

2. СОРТАМЕНТ И КАЧЕСТВО ПОЛУЧАЕМЫХ ПРЕССОВАНИЕМ ИЗДЕЛИЙ

На практике для горизонтальных прессов производственно целесообразной толщиной стенок труб считается как минимальная:

для латуни сплава 67/33	4—3 мм
» » » 63/37 Cu и Al	3—2 »
» » дуралюмина	5—3 »

Обычно указываемые фирмами в проспектах для горизонтальных прессов в 1000 т толщины стенок труб в 0,75—1,75 мм, для 2000 т в 1—2 и для 2500 т от 1 до 2 мм должны рассматриваться лишь, как возможные, но практически нерентабельные. Объектом валового производства они служить не могут, так как расход инструмента, трудность точной настройки пресса, узкие температурные границы прессования для некоторых сплавов, а отсюда увеличение брака и отходов, заставляют считать такие размеры достижимыми, но только рекордными.

Конечно, на вертикальных прессах, где употребляются короткие заготовки небольшого диаметра, можно с успехом получать и более тонкостенные трубы — латунные до 1, дуралюминовые до 1—1,5 мм и пр.

В отношении диаметров труб сейчас считается возможным рентабельно получать с горизонтальных прессов заготовку для труб диаметром, начиная с 45—50 мм, с 600-т вертикального — 25—50 мм и с 300-т — менее 30 и до 18—20 мм.

В табл. 30 приведены более подробные данные с указанием, на каком прессе, какие слитки нормально применяются и из какого сплава, какого размера трубы и прутки можно получить, учитывая прессуемость сплава, силу давления пресса и качество получаемой трубы.

Прессование труб всегда ведут через одно очко, прутки же и профили при прессовании по прямому методу прессуют через одно-два и

Таблица 30

Давление пресса, размеры его контейнера и иглы, размеры слитков и заготовки для труб и прутков, принятые по стандарту

Сплав	Контейнер		Игла		Слиток		Заготовка			Примечание
							диаметр			
	диаметр мм	длина мм	диаметр мм	длина мм	диаметр мм	длина мм	внутренний мм	наружный мм	толщина стенки мм	
1. Вертикальный 300-т пресс, ход 690 мм										
Медь и алюминий	60	225	20—26	155	59,0	100	20	32	1,5—3	
» » »	70	225	26—30	185	69,0	100	26	36	2—3	
Латунь Л-63	60	225	20—26	185	69,0	100	20	32	1,5—3	
» Л-63	70	225	26—30	185	59,0	100	26	36	2—3	
2. Вертикальный 600-т пресс, ход 820 мм										
Медь и алюминий	85	300	26—34	180—205	83,5	120	26	40	2—3	Трубы с прошивкой на прессе
» » »	100	300	34—49	180—250	98,5	120	34	55	2—3	
Латунь Л-63	85	300	26—34	180—205	83,5	110	26	40	2—3	
» Л-63	100	300	34—49	180—250	98,5	110	34	55	2—3	
» Л-70 и морская	85	300	26—34	180—205	83,5	100	26	34	2—3	
» Л-70 » »	100	300	34—49	180—250	98,5	100	34	55	2,5—3,5	
Дуралюмин	85	300	26—34	180—205	83,5	100	34	55	2,5—3,5	
»	100	300	34—49	180—250	98,5	180	35	54	2,5—3,0	Трубы без прошивки
3. Горизонтальный 1000-т пресс, ход 1650 мм										
Медь	175	500	—	—	170	450	—	35—100	—	Прутки
Муниц	175	500	—	—	170	350	—	35—100	—	»
4. Горизонтальный 1500-т пресс, ход 1600 мм										
Медь	175	700	—	—	170	700	—	60—100	—	Трубы
Латунь Л-63	175	700	40—50	—	170	250	40	60	3—5	»

Продолжение табл. 30.

Сплав	Контейнер		Игла		Слиток		Заготовка			Примечание
							диаметр			
	диаметр мм	длина мм	диаметр мм	длина мм	диаметр мм	длина мм	внутренний мм	наружный мм	толщина стенки мм	
Латунь Л-63	175	700	50—70	—	170	350	60	80	3—5	Трубы
» Л-63	175	700	80—110	—	170	400	80	120	4—5	»
Алюминий	175	700	40—50	—	170	250	40	60	3—5	»
»	175	700	60—110	—	170	350	60	120	4—5	»
Дуралюмин	175	700	40—50	—	170	600	—	120	—	Прутки
»	175	700	60—70	—	170	350	60	80	4—5	Трубы
5. Горизонтальный 2500-т пресс, ход 2100 мм										
Медь, латунь Л-67, Л-70 и алюминий	205	900	40—100	420—600	200	350	40	110	5—6	Трубы с прошивкой
	205	900	—	—	200	700	—	110	—	Прутки
Дуралюмин	205	900	60	470	63/200	320	60	70	5	Трубы из полого слитка
»	205	900	70	510	73/200	360	70	80	5	То же
»	205	900	80	550	83/200	380	80	90	5	» »
»	205	900	90	580	93/200	400	90	100	5	» »
»	205	900	100	680	103/200	400	100	110	5—6	» »
»	205	900	—	—	200	500	—	110	—	Прутки
»	255	990	110—120	660	113/250	410	110	135	5—8	Трубы из полого слитка
»	255	990	—	—	250	500	—	110—135	—	Прутки
»	255	990	—	—	250	700	—	135	—	»
Медь	255	990	110—120	660	250	350	110	135	5—10	Трубы с прошивкой
»	255	990	—	—	250	700	—	135	—	Прутки
Алюминий	255	990	110—120	660	250	400	110	135	5—10	Трубы с прошивкой
Медь и латунь Л-63	306	990	130—150	960	300	400	130	160	5—10	То же
» » » Л-63	408	990	140—250	960	400	600	200	260	5—10	» »

до двенадцати и более очков одновременно в зависимости от способности сплава прессоваться, силы пресса, размеров слитка и изделий, удобства их уборки и пр.

Так, например:

а) на горизонтальном 1500-т прессе из контейнера диаметром 170 мм прессуют дуралюминовые прутки:

при диаметре прутка 22 мм . . . . . в 2 очка обращенным методом
» » » 18—20 » . . . . . » 3 » » »
» » » 16 » . . . . . » 4 » » »
» » » 14 » . . . . . » 6 » » »
» » » 10—12 » . . . . . » 8 » » »
» » » 8 » . . . . . » 12 » » »

из контейнера диаметром 200 мм:

при диаметре прутка 70 мм и выше . . . в 1 очко прямым методом
» » » 45—70 » » . . . » 1 » обращенным методом
» » » 32—45 » » . . . » 2 » » »
» » » 25—30 » » . . . » 3 » » »

б) на 1000-т прессе с контейнером диаметром 180 мм латунные прутки прессуются следующим образом:

при диаметре 27 мм и выше в 1 очко
» » от 20 до 27 мм в 2 очка
» » » 19 » 26 » » 3 »
» » » 17 » 18 » » 4 »

в) на горизонтальном 700-т прессе обычно прессуются латунные прутки:

при диаметре от 12 до 16 мм в 5 очков
» » » 9 » 12 » » 6 »
» » » 6 » 8 » » 8 »

Прессовать одновременно большее число прутков, конечно, возможно и было бы выгодно. Это позволило бы брать слитки большей длины, отчего поднялась бы производительность пресса, но работать тогда становится крайне затруднительно, так как автоматическая намотка здесь не всегда применима, прутки путаются, их трудно убирать, часто они свариваются, что влечет за собой брак и прочие неудобства. Поэтому обычно больше шести — восьми — двенадцати прутков одновременно и не прессуют.

По качеству изделия, получаемые прессованием, не уступают изделиям, получаемым прокаткой, и во всяком случае значительно выше изделий из литого сплава, что можно видеть из табл. 31.

Таблица 31

Материал	В литом виде		Катаный и отожженный		Прессованный	
	σ_B кг/мм²	φ,%	σ_B кг/мм²	φ,%	σ_B кг/мм²	φ,%
Медь	15—20	15—25	21—24	>35	21—24	>35
Латунь Л-60	36	20	39	55	38	48
Дуралюмин	12—20	0,5—5,0	20—35	10—15	20—25	10

Ниже, в табл. 32, приведены механические качества разных металлов и сплавов, относящиеся к прессованным прутками диаметром 25—50 мм. При увеличении размеров прутка эти величины не сохраняются. Так, например, предел текучести 31,5 кг/мм², временное сопротив-

ление 47,25 кг/мм² и удлинение 20% могут быть легко получены у прутка марганцовистой бронзы диаметром 12 мм, но для получения тех же значений у прутка диаметром 100 мм, а в особенности в отношении предела текучести, пришлось бы изменить состав сплава. Сказанное относится не только к прессованным прутками, но в равной мере и к катаным и объясняется разной массой металла и скоростью охлаждения.

О прутках, получаемых прессованием, следует сказать, что более твердые сплавы, как, например марганцовистая бронза, алюминиевая бронза и пр., имеют в задних концах прутков более высокие значения предела текучести и меньшие удлинения, чем в передних концах. Это объясняется более низкой температурой конца прутка против его начала. Металлы — медь, алюминий, мягкая латунь 70/30, томпаки и пр. — этого не показывают. Наоборот, в сплавах высоких сопротивлений эта разница проявляется очень резко. Например, один и тот же пруток дает

	Начало прутка	Конец прутка
предел текучести, кг/мм²	23,62	26,77
временное сопротивление, кг/мм²	56,38	65,67
удлинение, %	44,00	31,00

Соответственно этому и диаметр прутков получается разный: передний конец имеет минимальный диаметр, средняя часть изменяется очень мало от требуемого размера, а задняя часть обычно имеет немного большие размеры.

Например, латунный пруток с номинальным диаметром 27 мм и длиной 17,7 м имеет передний конец длиной около 1 м тоньше почти на 0,1 мм, средняя часть длиной около 11,3 м имеет диаметр толще на 0,1 мм переднего, а задняя часть толще средней на 0,1 мм. В общем передний конец имеет диаметр 26,9 мм и задний 27,14 мм, т. е. толще на 0,24 мм.

Таблица 32

Механические качества выпрессованных прутков диаметром 25—50 мм[1]

№ по пор.	Материал	Механические качества			Примечание
		предел текучести кг/мм²	временное сопротивление кг/мм²	удлинение на длину 50 мм %	
1	Медь с 3% As	—	24,42	45	∅ 50 мм
2	Латунь Л-60	15,75	37,80	48	∅ 50 мм
3	» Л-58	21,27	45,52	42	с 1,5% Pb
4	» морская . . .	—	44,41	40	с 1% Sn ∅ 50 мм
5	Марганцовистая бронза	44,10	54,35	20	с 0,75% Mn ∅ 32 мм обжатый при протяжке на 1,5 мм
6	Алюминиевая бронза .	26,77	67,72	28	с 10% Al ∅ 50 мм
7	Мельхиор 90/10	11,03	26,00	50	с 10% Ni ∅ 25 мм
8	Нейзильбер	11,03	39,37	29	с 9% Ni ∅ 25 мм

A. Wragg в статье «Прессование нежелезных (цветных) металлов»[1] указывает, на основе практики английского завода, для 1000-т вертикального пресса следующую программу:

[1] S. Wragg, The Extrusion of Non-Ferrous Metals, «The Metal. Ind.» (L). 1936, V. XLVIII, № 3, 17, Jan., p. 73—80.

1) трубы медные от 57 × 64 мм до 25 мм внутреннего диаметра при четырнадцати размерах наружного;

2) трубы латунные Л-70 от 48 × 70 мм до 25 мм внутреннего диаметра при десяти размерах наружного;

3) трубы Cu + Ni 70/30 от 48 × 70 мм до 32 мм внутреннего диаметра при десяти размерах наружного.

3. ТОЧНОСТЬ РАЗМЕРОВ, ПОЛУЧАЕМЫХ ПРИ ПРЕССОВАНИИ ИЗДЕЛИЙ, И ДОПУСКИ

Как уже указывалось выше, выходящие из матрицы пруток или труба по своей длине имеют различные размеры: передняя часть, выходящая из матрицы с более высокой температурой, будет иметь меньший диаметр, чем идущая далее более холодная часть, так как первая даст бо́льшую усадку при остывании [1]. Отсюда понятно, что достичь при прессовании без последующей протяжки в холодном состоянии большой точности размеров весьма затруднительно. Кроме того, матрица при нагреве меняет свои размеры, истирается — разрабатывается, а усадка при остывании разных сплавов различна. Поэтому нормы допусков инструмента для каждого сплава различны. Допуски в изделиях прессованных должны быть значительно больше, чем при протяжке. Медный пруток круглый диаметром 50 мм имеет допуски при протяжке обычной точности ±0,25 мм, повышенной точности — 0,25 мм, а при прессовании ±1,5%, т. е. ± 0,75 мм, или в три раза больше, чем даже при обычной протяжке. Правда, катаный пруток этого же диаметра имеет допуски еще более грубые — ±2,5 мм. Прутки прессованные диаметром до 70 мм имеют допуски меньше, чем катаные, а начиная с этого диаметра, имеют допуски одинаковые.

Сортамент и технические условия для тянутых труб, прутков и проволоки здесь не приводим и укажем только на сортамент и технические условия (главным образом допуски) для прутков, которые вырабатываются только прессовкой и протяжке не подвергаются.

Такие круглые прутки делаются: а) медные, латунные и алюминиевые, обычно диаметром от 50 до 100 мм; б) дуралюминовые от 8 до 180—220 мм и более (заготовка для кузнечного цеха); в) алюминиево-железомарганцовистой бронзы от 6 до 160 мм.

Нормальная длина медных, латунных и алюминиевых прессованных прутков — от 0,7 до 2,0 м.

Отклонения по диаметру в этих прутках допускаются не свыше ±1,5%.

Нормальная длина дуралюминовых прутков [2]:

при диаметре	8— 70 мм	от 0,5 до 3,0	м
» »	70— 90 »	» 0,5 » 2,0	»
» »	95—110 »	» 0,5 » 1,5	»
» »	120—180 »	» 0,5 » 0,75	»

Допуски по диаметру прессованных прутков указаны в табл. 33.

Нормальная длина прутков, прессованных из алюминиево-железомарганцовистой бронзы:

при диаметре	6— 40 мм	от 2 до 5	м
» »	45— 70 »	» 1,5 » 5	»
» »	80—160 »	» 1,5 » 2,5	»

[1] Пример из практики для иллюстрации сказанного был приведен выше в конце раздела 2.

[2] Прейскурант Цмосснабсбыта, (Главцветметобработка). Прокат и сетка из цветных металлов, 1937, стр. 203.

Таблица 33

Допуски по диаметру дуралюминовых прессованных прутков

№ по пор.	Диаметр мм	Допуски мм	№ по пор.	Диаметр мм	Допуски мм	№ по пор.	Диаметр мм	Допуски мм
1	8—14	± 0,5	4	70— 80	± 0,8	7	120	+ 3,6
2	16—30	± 0,6	5	85—100	± 1,2	8	130—150	+ 5,0
3	32—65	± 0,7	6	110	± 3,0	9	160—180	+ 6,0

Допуски по диаметру этих прутков указаны в табл. 34.

Таблица 34

Допуски по диаметру прессованных прутков алюминиево-железомарганцовистой бронзы

№ по пор.	Диаметр мм	Допуски мм	№ по пор.	Диаметр мм	Допуски мм	№ по пор.	Диаметр мм	Допуски мм
1	6—12	± 0,4	4	36— 65	± 1,5	7	150—160	± 3,0
2	15—20	± 0,5	5	70—125	± 2,0			
3	22—32	± 1,0	6	130—140	± 2,5			

4. ТЕМПЕРАТУРЫ ПРЕССОВАНИЯ СЛИТКОВ РАЗЛИЧНЫХ МЕТАЛЛОВ И ИХ СПЛАВОВ

Вопросу правильного выбора температуры прессования для данного металла или сплава в главе I настоящей книги было уделено достаточно внимания.

Однако даже правильно выбранная температура нагрева еще не гарантирует достижения соответствующих результатов, если слиток не получит определенной продолжительности нагрева, обеспечивающей полный прогрев всей толщи металла и получение надлежащей его структуры.

Для расчета необходимой продолжительности нагрева таких металлов и сплавов, как медь, алюминий, латунь, медноникелевые сплавы, цинк и пр., где требуется только нагрев металла, еще может быть применена известная формула:

$$z = \frac{G \cdot c \cdot (t_2 - t_1)}{\alpha \cdot F \cdot (t_0 - t_m)} \text{ час}, \qquad (21)$$

где G — вес слитка в кг;

c — удельная теплоемкость;

t_1 — начальная температура нагрева;

t_2 — конечная температура нагрева;

t_0 — температура печи;

t_m — средняя в течение нагрева температура поверхности слитка (может быть принята около 0,7 t_0);

α — коэфициент теплоперехода, величина которого определяется для меди и алюминия по формуле:

$$\alpha = 0{,}038 \left(\frac{T_0}{100}\right)^3 + (10 \div 20) \; кал/м^2/час,$$

* Тайц, Нагревательные печи, 1935, стр. 240—248.

где T_0 — абсолютная температура печи;
F — активная поверхность нагрева, м².

Пример 1. Определить продолжительность нагрева до $t=875°$ медного слитка диаметром $d=400$ мм и длиной $l=420$ мм. Вес слитка 470 кг.

Примем $c=0{,}094$; $t_1=20°$; $t_2=875°$; $t_0=975°$ и $t_m=0{,}7\cdot 975=682°$:

$$\alpha=0{,}038\left(\frac{273+975}{100}\right)^3+10=0{,}038\cdot 1944{,}4+10=83{,}8\approx 84.$$

Если предположим, что печь пламенная с движением слитков прямо по подине, то за активную поверхность можно ориентировочно считать половину полной поверхности.

Тогда

$$F=(2\cdot\frac{\pi d^2}{4}+\pi dl)\cdot{}^1/_2=(2\cdot 0{,}126+1{,}26\cdot 0{,}42)\cdot{}^1/_2=(0{,}252+0{,}529)\cdot{}^1/_2=$$
$$=0{,}78\cdot{}^1/_2=0{,}39$$

и
$$z=\frac{470\cdot 0{,}094\cdot 855}{84\cdot 0{,}39\cdot 293}=3{,}95 \text{ час.}$$

Из табл. 35 следует, что на практике продолжительность нагрева таких размеров при указанных условиях принимают около 4 час.

Но для нагрева таких сплавов, как дуралюмин, электрон и пр., где требуется не только нагрев до соответствующей температуры, но и продолжительная выдержка для получения определенной структуры (гомогенизация) слитка, эта формула непригодна. В таких случаях приходится пользоваться эмпирическими формулами или данными практики.

Одной из таких формул является американская формула для дуралюмина. Формула эта имеет вид

$$z=(16-12)\sqrt{h}, \qquad (22)$$

где z — продолжительность нагрева, мин.;
h — толщина слитка, мм;
16 — 12 коэфициенты, зависящие от назначения операции: для нагрева и отжига применяется величина 16, для нагрева для закалки 12.

Некоторые инженеры за границей считают величину этих коэфициентов малой и принимают в первом случае 20 и во втором 16, что дает более надежные результаты.

Эта формула применима, как показала практика, и для расчета продолжительности нагрева слитков электрона.

Пример 1. Определить продолжительность нагрева слитка электрона диаметром 400 и длиной 500 мм. По формуле (22) имеем

$$z=20\sqrt{400}=20\cdot 20=400 \text{ мин.}=6{,}6 \text{ часа.}$$

На практике, как следует из табл. 35, это время принимается от 7 до 8 час.

Пример 2. Определить величину z при нагреве полой заготовки электрона диаметром 48,8 × 96,8 мм длиной 207 мм для вертикального пресса.

$$z=20\sqrt{\frac{96{,}8-48{,}8}{2}}=20\sqrt{24}=20\cdot 4{,}9=98 \text{ мин.}=1{,}63 \text{ часа.}$$

На практике ее нагревают от 1 ч. 30 м. до 2 час.

Пример 3. Определить величину z при нагреве круглого слитка электрона диаметром 200 мм и длиной 380—420 мм.

$$z=20\cdot\sqrt{200}=20\cdot 14{,}14=282{,}8 \text{ мин.}=4{,}7 \text{ часа,}$$

На практике, как следует из табл. 35, продолжительность нагрева такого слитка берут от 4 до 4,5 часа.

Таким образом приведенная выше эмпирическая формула с принятыми заграничной практикой коэфициентами дает результаты, близкие к установленным нашей практикой.

Таблица 35

Режим нагрева слитков горизонтальных прессов

№ по пор.	Металлы и сплавы	Размеры слитка мм		Режим нагрева		Примечание[1]
		диаметр	длина	температура °С	продолжительность нагрева час.	
1	Медь	120	350	800	1,5	
		145	350	800	1,5	
		175	350	825	2,0	
		175	475	850	2,0	
		200	375	825	2,0	Допустимые колебания температуры ± 25°
		200	600	825	2,5	
		250	360	850	2,5	
		250	650	850	3,0	
		300	475	850	3,5	
		400	420—600	875	4,0	
2	Латунь Л-59, Л-62, ЛС-59 и ЛМ-62	120—145	325—350	700	1,5	
		175	350—475	750	1,5	
3	Латунь ЛЖМ, КВ и ЛМ	200	375—600	725	2,0	
		250	380—650	725	2,5	
		300—400	475—575	725	3,0	
4	Латунь Л-68 и ЛМ-70	175—200	350—375	750	2,0	
		200—250	600—650	775	2,5—3,0	
5	Латунь томпаковая ЛТ-90	150—200	300—375	875	2,0	
		200—250	380—600	875	2,5—3,0	
6	Бронза БрАЖМц 10-4-1 и БАЖ	150—200	300—315	780	1,5—2,0	
		175—200	475—600	800	2,0—2,5	
		250	380	780	1,5—2,0	
		250—300	475—650	820	2,5—3,0	
		400	575	840	3,0—3,5	
7	Бронза Карро БрОФ 6-01	150—200	300—375	760	2,0	Допустимые колебания температуры ± 10°
		250	380—400	760	2,5—3,0	
8	Алюминий	150—175	375	350	2,0	Допустимые колебания температуры ± 15°
		200—250	380—400	375	2,5—3,0	
		300—400	400—500	450	3,0—4,0	
9	Дуралюмин	150—175	350	450	2,5—3,0	Допустимые колебания температуры ± 10°
		200	380—420	450	3,5—4,0	
		250	400—450	465	4,5—5,0	
		300	480	475	5,5—6,0	
		400	500	485	7,0—8,0	
10	Электрон	200	380—420	320—360	4,0—4,5	То же
		250	400—450	320—360	5,0—5,5	
		300	480	320—360	6,0—6,5	
		400	500	320—360	7,0—8,0	

[1] При прессовании прутков берутся нижние пределы температур, для труб — верхние.

В табл. 35 и 36 приведена продолжительность нагрева слитков из разных металлов и сплавов, принятая нашими заводами.

Таблица 36

Режим нагрева слитков вертикальных прессов 300 и 600 т

№ по пор.	Металлы и сплавы	Режим нагрева: температура °С	Режим нагрева: продолжительность нагрева, час.	Примечания
1	Медь	575 600	1,5—2,0[1] 1,5—2,0[2]	
2	Латунь ЛС-59 и ЛЖМ » Л-62 » ЛМ-70 » Л-68 и БрАЖМц 10-4-1	625 650 700 725	1,0—1,6 1,0—1,6 1,5—2,0 1,5—2,0	Допустимые колебания температур ± 25°
3	Мельхиор Мх 80-20	825	2,6—3,0	
4	Алюминий	335	1,5—2,0	Допустимые колебания температур ± 15°
5	Дуралюмин	370	2,0—2,5	Допустимые колебания температур ± 10°

Примечания. 1. Для заготовки с толщиной стенки 1,5 мм и более для 300-т пресса и 2,5 и более — для 600-т.
2. Для прессования заготовки с толщиной стенки менее 1,5 мм для 300-т пресса и менее 2 мм — для 600-т.

5. СКОРОСТЬ ПРЕССОВАНИЯ И ИСТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА И ЗАВИСИМОСТЬ ЕЕ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

При прессовании различают две скорости: 1) скорость прессования, т. е. ту скорость, с которой движется плунжер, а следовательно пуансон и прессшайба, 2) скорость истечения, т. е. ту скорость, с которой металл выходит из отверстия матрицы. Очевидно, что, если обозначим через F сечение контейнера, f — сечение выпрессованного изделия, v — скорость движения прессшайбы и V — скорость выхода металла из матрицы, то скорости прессования и истечения при прессовании без рубашки должны быть связаны равенством:

$$Fv = fV,$$

откуда

$$V = \frac{F}{f} \cdot v,$$

или

$$v = \frac{f}{F} \cdot V.$$

Так как отношение $F : f$ есть коэфициент вытяжки λ, а $f : F$ — коэфициент обжатия $k = \frac{1}{\lambda}$, то можно также написать, что:

$$V = \lambda \cdot v,$$

или

$$v = kV.$$

Отсюда видно, что при данной скорости движения плунжера, пуансона и прессшайбы скорость истечения будет тем больше, чем больше коэфициент вытяжки. Так как относительное обжатие или степень деформации

$$\delta = \frac{F-f}{F} = 1 - \frac{f}{F} = 1 - \frac{1}{\lambda},$$

откуда

$$\lambda = \frac{1}{1-\delta},$$

то скорость истечения будет также тем больше, чем больше степень деформации. Таким образом скорость истечения тонких прутков при одинаковой скорости движения пуансона получится всегда больше, чем скорость истечения прутков крупного сечения.

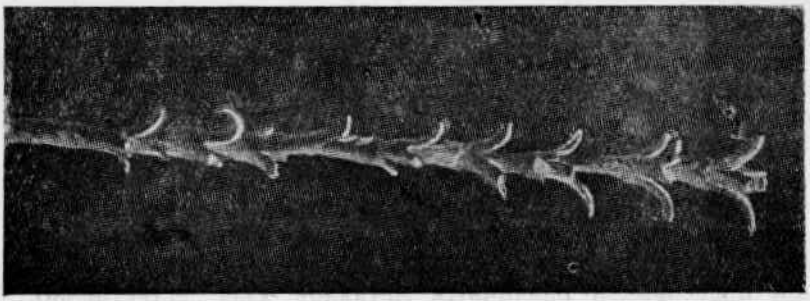
Выше уже говорилось, что металлы и их сплавы обладают разной степенью прессуемости, т. е. разной степенью пластичности, крепости или сопротивляемости деформации. Отсюда понятно, что скорость движения пуансона при данной силе давления пресса получится разной при прессовании различных металлов. Она, естественно, будет меньше у тяжело прессуемого класса металлов против нормально прессуемого и т. д. С другой стороны, добиваться одинаковой скорости истечения при прессовании разных сплавов также не следует ввиду различия их по своей пластичности.

В главе I книги — в теоретической части — подробно была изучена картина движения частиц слитка в контейнере и истечения металла через очко матрицы как при прямом, так и при обращенном методе прессования. Мы видели, что различные частицы слитка при прямом методе прессования текут в матрицу не с одинаковой скоростью. Частицы объема V_1 более горячей части, а потому более подвижные, текут быстрее других и имеют к этому большие возможности, находясь прямо против отверстия матрицы. Частицы объема V_2 более холодные, а потому менее подвижные, отстают от первых. Этому способствует также трение наружной поверхности слитка о стенки контейнера и нахождение этих частиц вне отверстия матрицы. Следовательно, попадать в нее они могут только тогда, когда напряжение в зоне V_1 почему-либо менее, чем в зоне V_2. Частицы последнего объема, находящиеся в углах у матрицы, мало подвижны. Наконец, частицы объема V_3 остаются с начала процесса и до конца совершенно неподвижными. В результате всего этого можно считать, что если процесс прессования вести очень быстро, несоответственно свойствам и крепости данного сплава, то уже в контейнере достигают такой величины внутренних напряжений в материале, что в нем могут появиться трещины и разрыв слитка. Естественно, что при таком положении рассчитывать на получение доброкачественного изделия не приходится.

Течение по поперечному сечению прутка или трубы тоже неодинаково, так как наружные поверхности, прилегающие к матрице, безусловно испытывают тормозящее влияние трения о поверхность очка матрицы, подвергаясь в то же время и охлаждающему ее влиянию. Вследствие этого внутренние, более горячие, слои стремятся течь быстрее, чем рядом с ними находящиеся, более удаленные от середины, а эти последние в свою очередь быстрее, чем внешние слои. В результате между этими слоями создаются внутренние напряжения, которые при прессовании с большими скоростями достигают такой величины, что между ними происходит разрыв. Сначала появляется шероховатость на поверхности изделия, затем при большей скорости — поперечные трещины, а при еще большей — разрывы

наружной поверхности, выдавливание через эти разрывы внутренней более пластичной массы, так что получается вид ветвистого дерева (фиг. 220) и т. п.

Таким образом приходим к выводу, что оптимальная скорость прессования и истечения у разных сплавов при различных температурах нагрева слитка и разных сечениях и профилях прутка должна быть различна.



Фиг. 220. Образование «ерша» при прессовании с большой скоростью перегретого металла

Охлаждающее влияние матрицы различно в том случае, если мы будем прессовать разные металлы одинакового сечения: предположим, пруток из мунца, обладающего прекрасной пластичностью при температуре прессования 700—750°, или из тяжело прессуемого дуралюмина (при 420—450°). Равным образом при прессовании одного и того же сплава на прутки диаметром, например, 30 и 15 мм охлаждение материала, а следовательно и свойства выпрессовываемого прутка по поперечному сечению будут разными, а потому и скорость истечения должна быть разная, и во втором случае скорость истечения может быть взята бо́льшая, чем в первом случае. При прессовании труб одинакового сечения с прутками скорость истечения их вследствие наличия двух поверхностей трения должна быть меньше, чем для прутка. Поэтому во избежание замораживания слитка в контейнере приходится длину слитка брать значительно короче, чем для прутка. При прессовании труб большего и меньшего диаметров с одинаковой толщиной стенки скорость истечения в первом случае должна быть меньше, чем во втором. При прессовании какого-либо тонкого профиля, например, двутаврика, у которого охлаждающее влияние периметра по отношению к сечению, а также трение о стенки очка матрицы будет еще больше, естественно, скорость истечения и длина слитка должны быть еще меньше. Практика показывает, что скорость истечения в этом случае должна быть процентов на 10—15 меньше, чем у прутков того же сечения.

С повышением температуры крепость и сопротивляемость деформации понижаются, а скорость истечения, естественно, возрастает. Однако допускать повышение скорости больше определенных для каждой температуры границ не следует, так как при этом температура очень повышается, материал перегревается и изделие ухудшает свои качества, а при очень высокой скорости получается брак. Поэтому на практике при повышении температуры нагрева слитка скорость истечения снижают, и наоборот.

Резюмируя сказанное, приходим к такому выводу:

1. Мягкие, легко прессуемые металлы и сплавы можно прессовать с бо́льшими скоростями, чем нормально прессуемые, а эти пос-

ледние, в свою очередь, с бо́льшими против более тяжело прессуемых и т. д.

2. При прессовании труб скорость истечения должна быть меньше, чем при прессовании прутков того же сечения, в зависимости от чего во избежание замораживания слитка в контейнере длина его (слитка) в первом случае должна быть меньше, чем во втором.

3. Чем больше отношение периметра данного профиля к площади его сечения, тем скорость истечения и длина слитка должны быть для одного и того же сплава взяты меньше; при этом нужно обеспечить хорошую подачу материала во все части профиля, устраивая широкие вводы вообще и к тонким частям (например, для стенки у двутавриков) в особенности, а также принять бо́льшие радиусы закруглений при переходе вводного конуса к цилиндрической части матрицы.

4. Чем выше температура, тем должна быть взята меньшая скорость.

5. Если сплав и сила давления пресса допускают обработку этого материала и при более низких температурах, при которых влияние трения о матрицу по сравнению с увеличением крепости уменьшается, то возможно те же изделия обрабатывать в этом случае и с большей скоростью. Пример такого решения задачи приведен ниже в отношении электрона марки AZM и дуралюмина.

Такое увеличение скорости при прессовании этих сплавов при пониженной температуре полезно также и потому, что при этом уменьшается налипание металла на инструмент.

На горизонтальных прессах слитки электрона диаметром 200 мм прессовались при 320—360° при скорости истечения 5 см/сек (при большей получались дефекты). Когда при таком же нагреве попробовали прессовать на вертикальных прессах, то получался сплошной брак, так как при быстрой работе температура значительно повышалась, металл перегревался и изделия разваливались. Исследование показало, что лучше давать нагрев от 220 до 320° (лучше — к меньшему указанному пределу и ни в коем случае не выше 320°), и в этих условиях можно работать на 600-т вертикальном прессе со скоростью истечения от 10 до 16 см/сек; такую скорость и применяют на практике [1].

То же самое наблюдалось и при прессовании дуралюминовых труб. В то время как трубы диаметром 70 × 60 мм (толщина стенки 5 мм) приходилось прессовать на горизонтальном 1500- или 2500-т прессе со скоростью истечения 5—6 см/сек, а диаметром 110 × 120 мм (толщина стенки также 5 мм) со скоростью 2,5—3 см/сек при нагреве до 430—460°, трубы меньших диаметров при нагреве на 390—420° прессуют на 600-т вертикальном прессе со скоростью 10—12 и до 18 см/сек. Также обстоит и со скоростью истечения алюминия: его необходимо прессовать при понижении температуры нагрева с 320—350°, принятой обычно при работе на горизонтальных прессах, до 290—320°; при этом во избежание налипания материала скорость истечения должна быть не выше 12—14 см/сек. В табл. 37 приведены принятые сейчас на основе практики заграничных и наших заводов нормальные средние скорости истечения при прессовании металлов и сплавов.

---

[1] В. А. Буталов, Производство электрона, сборник докладов и статей Ленинградского научно-инженерно-технического общества цветной металлургии, Госхимтехиздат, 1933, стр. 23 и 32.

Таблица 37

Нормальная скорость истечения при прессовании

Материал	Изделия	Скорость истечения см/сек	Примечание
Медь	Трубы	25—60	
Латунь Л-70	»	10—12	
» Л-62	»	15—20	
» ЛМ-70 морская	»	10—15	
Мунц Л-58	»	25—50	
Алюминий	»	8—10	На горизонтальном 1000-т прессе
»	»	12—13	На вертикальном 300-т прессе
Дуралюмин	»	2,5—5	На горизонтальных прессах t=430—460°
»	»	10—12—18	На вертикальных прессах, t=390—420°
Электрон	»	2,5—5	На горизонтальном 2500-т прессе, слиток диаметром 200 мм, t=320—360°
»	»	10—16	На вертикальном 600-т прессе, заготовка 48,8×96,8 мм, длиной 207 мм, t=220—320°
Медь	Прутки	30—60	На 1500- и 1000-т прессах
Мунц Л-58	»	100—150	То же
Латунь Л-62	»	100	» »
Алюминий	»	10—15	» »
Дуралюмин	»	10—12,5	» »
Электрон	»	2,5—5,0	» »

В частности, при прессовании дуралюминовых труб на 2500—3000-т прессе установлены опытом и дают хорошие результаты скорости истечения при нагреве слитков до 430—460°, указанные в табл. 38.

Таблица 38

Скорость истечения при прессовании дуралюминовых труб

Размер труб мм	Скорость истечения см/сек	Примечание
70×60	5—6	Бо́льшая скорость допускается при вновь установленной игле; по мере срабатывания иглы скорости снижаются до нижнего предела
80×70	4—5	
90×80	3,5—4,5	
100×90	3—4	
110×100	3—4	
120×110	2,5—3	
122×110	3—3,5	
125×110	3—3,5	
135×120	3—3,5	

6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ СЛИТКОВ

Основанием для определения поперечного сечения слитка служат соображения минимальной степени обжатия (или минимальной вытяжки) при прессовании для обеспечения надлежащей структуры, оптимальных механических свойств получаемого изделия и равномерности этих свойств по его поперечному сечению. Как известно из главы I настоящей книги (см. раздел 4), степень обжатия δ должна быть не менее 92—94%, чему отвечает минимальная величина вытяжки $\lambda = 12$—15 (на практике работают всегда с большими значениями этих величин). На основании этого сечения требуемых слитков для заданных размеров труб и прутков определяют весьма просто. Протяжный цех дает свое задание, учитывая все потребности в отношении необходимости дать при протяжке определенное обжатие по диаметру прутка или трубы и толщине стенок трубы [1], равным образом назначает длину требующейся заготовки, учитывая окончательные длины требуемого изделия, длины своих протяжных механизмов, печей и т. п. и, наконец, всех своих отходов на захватки, обрезку и т. д. Таким образом прессовый цех получает от протяжного требование — дать заготовку из определенного сплава сечением f и длиной l.

Приняв на основе сказанного выше величину λ, находим необходимое ориентировочное сечение слитка $F = \lambda f$ [2] и отсюда ориентировочно его диаметр

$$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} \approx 1{,}13\sqrt{F}.$$

Далее для установления окончательного диаметра слитка необходимо предварительно наметить, на каком прессе и из какого контейнера будут прессоваться данные изделия. В настоящее время пресса получили на практике определенный стандарт: вертикальные пресса строят с давлением в 300, 450, 600, 750 и 1000 т; горизонтальные пресса с давлением 600, 750, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 4000, 5000, 7000 и 10 000 т.

Пресса вертикальные в 450, 750 и 1000 т и горизонтальные в 600 и 750 т изготовляют реже остальных, равным образом пресса давлением в 5000 т и выше пока также ставят редко и применяют главным образом при обработке легких и ультралегких сплавов, для получения заготовки для прокатных и кузнечных цехов.

Каждый пресс обычно выпускают с двумя—четырьмя контейнерами, наиболее употребительные размеры которых указаны ниже в табл. 39. В этой же табл. 39 указаны и наиболее часто применяемые размеры слитков.

Минимальные и максимальные диаметры контейнеров определяются с тем расчетом, чтобы при минимальном диаметре напряжение сжатия в пуансоне не превосходило 8000—12 000 кг/см² и в самом крайнем случае было никак не выше 14 000—15 000 кг/см², а при самом

[1] На практике обычно принимают, что для обеспечения нормальных качеств труб толщина стенки заготовки должна быть в полтора раза толще стенки готовой трубы после протяжки.

[2] При прессовании труб величина F есть кольцевое сечение прошитого иглой или отлитого полого слитка,

$$F_0 = \frac{\pi}{4}(D^2 - d_1^2),$$

где d_1 — внутренний диаметр.

Тогда диаметр контейнера определится по формуле

$$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi} + d_1^2}.$$

большом диаметре, чтобы удельное давление прессшайбы на слиток было не ниже минимально необходимого для возможности прессования данного металла.

Таким образом минимальные диаметры контейнера у пресса, предназначенного для прессования латуни и дуралюмина, будут одинаковы, а максимальные, естественно, будут разные, ибо для латуни величина удельного давления прессшайбы на металл достаточна 25—35 кг/мм², в то время как для дуралюмина это давление должно быть не ниже 40—60 кг/мм². Если подсчитать напряжение в пуансоне по приведенным в табл. 39 размерам контейнера, то увидим, что напря-

Таблица 39

Размеры наиболее часто применяемых контейнеров и слитков

Давление пресса т	Тип пресса	Размеры контейнера, мм		Размеры слитка, мм	
		диаметр	длина	диаметр	длина
300	Вертикальный	60	200	59,0	125—150
300	»	70	200	69,0	125—150
600	»	85	300	83,5	110—180*—150 180
600	»	100	300	98,0	130 - 200
1000	Горизонтальный	125	500	120,0	200 400
1000	»	155	600	150,0	300 - 500
1000	»	175	700	170,0	300—500
1500	»	155	700	150,0	300—500
1500	»	180	700	175,0	400—600
2000	»	155	700	150	300—500
2000	»	180	700	175	400—600
2000	»	205	800	200	400—700
2500	»	205	800	200	200—700
2500	»	255	900	250	400—600
2500	»	305	900	300	400—800
2500	»	408	900	375	400—800
3000	»	235	600	230	300—500
3000	»	260	700	250	400 600
3000	»	300	800	280	400—700
3000	»	400	1000	370	600 900
5000	»	280	1200	260	400 - 700
5000	»	370	1200	350	600—900
5000	»	420	1200	390	600—1100
5000	»	500	1200	470	700—1100

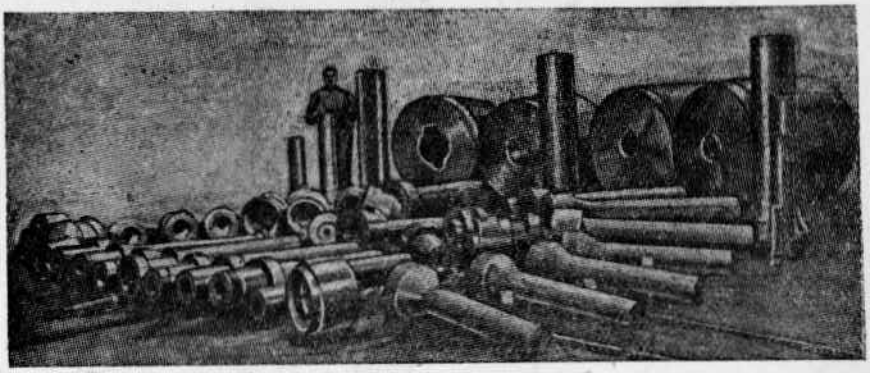
жение для всех прессов для минимальных диаметров будет около 80—120 кг/мм² или 8000—12 000 кг/см² и для максимальных—укладывающееся в указанные выше пределы.

Иметь при прессе большее число контейнеров нерационально, так как смена контейнеров при их громоздкости (фиг. 221) является довольно сложной операцией, требующей много времени. Поэтому, имея определенную программу прессования и ориентировочно определив сечения и диаметры требующихся слитков, мы далее разбиваем программу по контейнерам с таким расчетом, чтобы иметь, с одной стороны, минимальное число перестановок контейнера, а с другой — обеспечить необходимую минимальную степень деформации. Таким образом устанавливаем, что данные изделия будут прессоваться из контейнера такого-то размера. Приняв для удобства ввода слитка в контейнер определенный зазор между слитком и контейнером от

* Длина 110 мм для конденсаторных латунных труб Л-70 и 130 мм для труб морской латуни ЛМ-70.

1 мм при минимальных размерах контейнера вертикального 300-т пресса и до 30 мм (табл. 39) у горизонтального 5000-т и более пресса, определяем окончательный для них диаметр слитка в холодном состоянии.

Если при определении диаметра слитков для горизонтальных прессов, а также заготовки для вертикальных прессов, имеющих самостоятельный ход иглы, можно давать для удобства ввода их в контейнер довольно большой зазор, то при работе на вертикальных прессах, не имеющих независимого от пуансона хода иглы, в этом отношении нельзя выходить из даваемых расчетом довольно узких пределов. Это происходит оттого, что у первых прессов запрессовка



Фиг. 221. Набор инструмента горизонтального прутково-трубного пресса (хорошо видны размеры пуансонов, контейнеров и других деталей)

слитка перед прошивкой его иглой заполнит свободное пространство в контейнере, и игла, испытывая при прошивке кругом одинаковое сопротивление, не будет подвергаться боковым изгибающим ее напряжениям. У прессов же второго типа такая запрессовка невозможна, и игла, прошивая в незаполненном контейнере слиток, будет подвергаться действию больших изгибающих сил (фиг. 132), отчего в лучшем случае даст трубу с неодинаковой толщиной стенки, а в худшем — будет ломаться, портить матрицу и т. п. На фиг. 222 показана согнутая при таких условиях игла. Поэтому при работе на горизонтальных прессах перед прошивкой запрессовывать слиток обязательно, а при работе на вертикальных прессах типа фиг. 150—151 должно быть обращено надлежащее внимание на возможно точный подбор заготовки по диаметру и ее правильную центровку. Здесь диаметр холодной заготовки берут с таким расчетом, чтобы в нагретом состоянии заготовка довольно плотно входила в контейнер. Диаметр заготовки в этом случае определяют следующим подсчетом. Обозначим через D—диаметр контейнера, d—диаметр заготовки в холодном состоянии, α — коэфициент расширения данного материала при нагреве, t—температуру нагрева заготовки, тогда

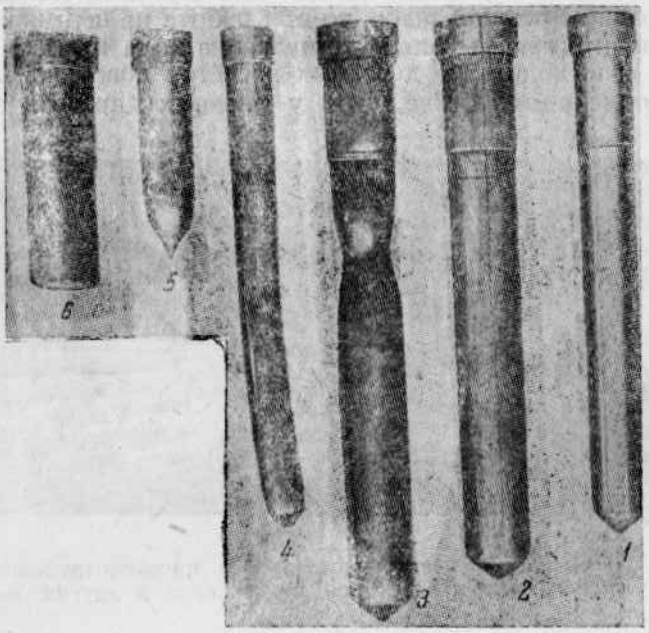
$$D = (1 + \alpha t)\, d,$$

откуда

$$d = \frac{D}{1 + \alpha t}. \qquad (23)$$

Установив таким образом диаметр слитка, далее определяем его длину, приняв в соображение, сколько отпрессованных изделий (требуемого сечения и длины) можно получить из слитка, а также сделав соответствующую добавку на прессостаток.

Слитки желательно брать более длинные, следовательно, получать прессованием изделия возможно большей длины, так как этим повышается производительность пресса. С другой стороны, этим затрудняется уборка и передвижение отпрессованных изделий, подача тяжелых слитков к прессу, требуются большие свободные площади у пресса и т. п.



Фиг. 222. Иглы вертикального пресса «Гидравлик»:
1 — новая без термической обработки; 2 — испорченная (трещина) термической обработкой; 3 — вытянутая при прессовании; 4 — изогнутая; 5 — оборванная; 6 — сломанная

Поэтому обычно прессуют изделия длиной не более 18—20 м, а чаще даже 15—18 м.

Исключение составляет прессование тонких прутков и заготовки для проволоки, которая наматывается на горизонтальные моталки в бунты. В этом случае длина прессуемого прутка может быть значительно больше.

Далее необходимо учесть следующее: 1) будут ли при принятой длине слитка обеспечены необходимые качества получаемых изделий и 2) будет ли в состоянии данный пресс по своей силе давления выполнить намеченную работу. Как произвести этот подсчет, было показано в главе I и будет показано далее на примерах, здесь же остановимся на решении первой нашей задачи.

Выше уже указывалось, что современные пресса позволяют (и это составляет безусловное преимущество прессования перед прокаткой) получать изделия горячим методом почти точно тех размеров, которые требуются заказом — трубы с толщиной стенки до 0,75 мм при диаметре до 10—12 мм; прутки и проволоку латунную до 5,5—6,0 мм, из дуралюмина до 8—10 мм и т. п. Но, конечно, таких размеров изделия могут быть получены только с прессов различной мощности и при разных размерах контейнера и слитка. Чем более тонкую и меньшего диаметра трубу нужно получить, тем меньший пресс должен быть взят, с меньшими размерами контейнера и пр. Если бы для

получения небольшого размера тонкостенной трубы применить несоответствующий пресс — с большим диаметром контейнера и длиной слитка, то отпрессовать подобную трубу не удалось бы, а если бы и удалось, то слиток вследствие долгого нахождения в контейнере успел бы значительно остыть; прессование шло бы не при надлежащей температуре, структура изделия получилась бы ненормальной и самое изделие невысоких механических свойств — в лучшем случае, а в худшем просто брак. К тому же такая труба была бы неравномерной толщины, так как настраивать тяжелые пресса с требующейся для таких труб точностью крайне затруднительно и вырабатывать такие трубы пришлось бы из слитков небольших размеров. Число ходов в минуту у больших прессов значительно меньше, чем у малых, в особенности, чем у быстроходных вертикальных; в связи с этим такое производство было бы дорогим и нерентабельным. Поэтому следует прессовать каждую трубу на прессе с соответствующей, но, конечно, допустимо большой силой давления.

С другой стороны, на данном прессе всегда нужно работать со слитками максимально возможных размеров и веса, чтобы уменьшить процент отходов, так как для получения изделия надлежащего качества в контейнере приходится иметь довольно больших размеров остаток металла, почти независимый от длины слитка. С этой точки зрения длинный контейнер выгоднее, но работать с ним не всегда возможно, так как при прессовании тонких изделий металл в нем будет находиться очень долго и будет быстро стынуть и пр.

Поэтому прутки вырабатывают из более длинных слитков, а трубы — из более коротких, так как прошитый тонкостенный слиток стынет значительно быстрее, чем цельный при производстве прутков.

У современных прессов для производства прутков отношение длины контейнера к его диаметру доходит до $\frac{L}{D}=4—6$, а у трубных прессов это отношение не может быть более 4,5.

Приняв все указанные соображения во внимание и сделав проверку силы давления пресса, окончательно устанавливаем размеры требующихся слитков.

При выборе длины слитка имеют большое значение даваемые практикой соображения о скорости остывания слитка при подаче его от печи к прессу, подаче его в контейнер, оптимальной скорости прессования того или иного сплава и в связи с этим остывания слитка в контейнере, влияния подогрева контейнера и пр. Учесть все эти моменты подсчетом невозможно, а у начинающего работать в прессовом деле еще не имеется таких опытных данных, которые помогли бы ему правильно решить поставленную задачу о выборе размеров и главным образом длины слитка. Поэтому считаем полезным в виде подсобного ориентировочного материала привести по этому вопросу некоторые данные прессостроительных фирм, а также наших трубных заводов.

В табл. 39 были приведены нормальные размеры контейнеров и слитков горизонтальных и вертикальных прессов. В табл. 40 даны нормальные размеры слитков для разных прессов с указанием применяемых сплавов и получаемых из них изделий. В табл. 41 и 42 приведены такие же данные для 1500- и 3000-т прессов при производстве дуралюминовых труб и прутков. В табл. 43 дана спецификация слитков и изделий 5000-т пресса. В табл. 44 приведены размеры контейнеров у прессов, работающих на наших заводах; в табл. 45 и 46 даны размеры слитков (по проекту), принятые Гипроцветметобработкой.

Все эти данные позволят правильно выбрать в том или ином

случае размеры слитка соответственно сплаву, размерам и форме прессуемого изделия.

В заключение следует сказать еще несколько слов о работе с полыми слитками как на вертикальных, так и на горизонтальных прессах.

Таблица 40

Размеры изделий, контейнера, слитков и сила давления прессов

Наименование изделий	Диаметр изделия мм	Диаметр контейнера мм	Длина слитка мм	Сила давления пресса т
Трубы медные . . .	15—18	69,0	140	300
» » . . .	19—35	83,5	150	600
» » . . .	36—50	98,0	180	600
» » . . .	51—90	170,0	450	1500
» » . . .	91—120	200,0	450	1500
» » . . .	121—170	370,0	650	3000
Трубы латунные . .	15—18	69,0	140	300
» » . . .	19—35	69,0	140	300
» » . . .	36—50	98,0	200	600
» » . . .	51—90	170,0	500	1500
» » . . .	91—120	200,0	500	1500
» » . . .	121—170	370,0	370	3000
Трубы алюминиевые	121—170	370,0	370	3000
» дуралюминовые	121—170	370,0	370	3000
» латунные . .	9—23	168,0	168	1000
Прутки » . .	24—60	200,0	200	1000

Полые слитки применяют на вертикальных прессах для уменьшения расхода игл, работающих в особо тяжелых условиях при малом их диаметре. С этой целью на горизонтальных прессах прошивают слиток и прессуют заготовку с внутренним диаметром, значительно больших размеров, чем желают получить трубу с вертикального пресса. Часто для этого применяют слитки полые отлитые или просверленную, полученную прессованием заготовку, также с отверстием несколько большего диаметра. Затем такую заготовку режут на куски определенного размера, нагревают и прессуют на трубы меньших размеров. Естественно, что при такой схеме работы игла совершенно не подвергается продольному изгибу вследствие отсутствия прошивки, а при прессовании подвергается значительно меньшему зажиму и вытягивающим напряжениям и служит значительно дольше. Иглы на горизонтальных прессах ввиду прошивки в слитках значительно бо́льших отверстий работают в лучших условиях и потому служат до́льше.

При работе на современных горизонтальных прессах полые слитки применяются в следующих случаях: 1) для получения хорошей внутренней поверхности трубы, что особенно важно при сплавах, обладающих свойством налипать на инструмент (алюминий, дуралюмин, электрон); 2) для получения с данного пресса труб большего диаметра, чем допускает мощность прошивных устройств; 3) для уменьшения количества отходов, представляющих очень большую величину при трубах большого диаметра.

Обычно силу давления цилиндра для прошивки у горизонтальных прессов берут равной от 10 до 20% от номинального давления пресса. Если нужно получить трубу ненормально большого диаметра, то давление этого цилиндра может оказаться недостаточным для данной работы, в то время как давление главного цилиндра еще достаточно для выполнения работы прессования. В этом случае также прибегают

Таблица 41

Спецификация изделий 1500-т пресса типа фиг. 141 при производстве дуралюминовых труб и прутков

№ по пор.	Диаметр контейнера мм	Слиток		Труба				№ по пор.	Диаметр контейнера мм	Слиток		Пруток	
		длина, мм	вес, кг	диаметр внутренний мм	диаметр наружный, мм	толщина стенки мм	поперечное сечение, см²			длина, мм	вес, кг	диаметр, мм	поперечное сечение, см²
1	200	450	40	91	99	4,0	12,0	1	200	700	62	75	44,0
2	200	450	40	84	95	5,5	16,0	2	200	700	62	70	38,5
3	200	450	40	75	86	5,5	14,0	3	200	600	53	60	28,3
4	200	450	40	71	79	4,0	9,5	4	200	600	53	53	22,0
5	170	400	25	74	80	3,0	7,0	5	200	600	53	50	19,6
6	170	400	25	69	75	3,0	6,5	6	170	500	32	32	8,0
7	170	400	25	63	69	3,0	6,5	7	170	500	32	27	5,7
8	170	400	25	60	69	4,5	9,2	8	170	400	25	4×12	4,5
9	170	250	16	52	60	4,0	7,0	9	170	400	25	4×8	2,0
10	170	250	16	40	46	3,0	4,0	—	—	—	—	—	—

Таблица 42

Спецификация изделий 3000-т пресса типа фиг. 141 при производстве дуралюминовых труб и прутков

№ по пор.	Производство труб														Производство прутков				
	из полых слитков							из массивных слитков											
	Диаметр контейнера мм	слиток		трубы				диаметр контейнера мм	слиток		трубы				диаметр контейнера мм	слиток		пруток	
		длина, мм	вес, кг	диаметр внутренний, мм	диаметр наружный мм	толщина стенки, мм	поперечное сечение, см²		длина, мм	вес, кг	диаметр внутренний, мм	диаметр наружный мм	толщина стенки, мм	поперечное сечение, см²		длина, мм	вес, кг	диаметр, мм	поперечное сечение, см²
1	420	900	215	260	280	10	85	—	—	—	—	—	—	—	420	1100	425	200	314,0
2	370	900	191	200	230	15	101	—	—	—	—	—	—	—	370	1100	330	156	191,0
3	370	900	199	190	200	5	31	—	—	—	—	—	—	—	370	1100	330	120	113,0
4	—	—	—	—	—	—	—	370	600	180	160	170	5,0	26,0	370	900	270	105	87,0
5	—	—	—	—	—	—	—	370	600	180	148	160	6,0	28,0	370	900	270	100	78,5
6	—	—	—	—	—	—	—	370	600	180	132	140	4,0	17,0	370	900	270	90	63,5
7	—	—	—	—	—	—	—	280	500	86	123	135	6,0	24,0	280	800	136	85	57,0
8	—	—	—	—	—	—	—	280	500	86	100	111	5,5	18,5	280	800	136	80	50,0
9	—	—	—	—	—	—	—	200	450	40	91	99	4,0	12,0	280	700	121	78	47,5
10	—	—	—	—	—	—	—	200	450	40	84	95	5,5	16,0	280	700	121	70	38,5
11	—	—	—	—	—	—	—	200	450	40	75	86	5,5	14,0	200	600	53	45	15,9
12	—	—	—	—	—	—	—	200	450	40	71	79	4,0	9,5	200	600	53	2×30	14,2
13	—	—	—	—	—	—	—	200	250	22	40	46	3,0	4,0	—	—	—	—	—

Спецификация изделий 5000-т пресса типа фиг. 133 при производстве труб и прутков

Материал	Производство труб							Производство прутков					
	слиток		трубы			число прессований в 1 час	часовая производительность т	слиток		диаметр прутка		число прессований в 1 час	часовая производительность т
	диаметр мм	длина мм	диаметр мин. мм	диаметр макс. мм	толщина стенки мм			диаметр мм	длина мм	мин. мм	макс. мм		
Медь	275	400—600	50	120	3	20	3,2—4,8	275	600—1000	30	180	20	5,2—8,6
»	400	600—800	120	300	5	20	9,6—13,0	400	600—1000	80	300	20	11,0—18,0
»	500	600—800	180	360	7	20	14,0—18,0	500	700—1000	120	360	20	20,0—28,0
Латунь Л-67	275	400—600	60	120	4	15	2—3	275	—	—	—	—	—
»	400	600—800	150	300	6	15	6—8	400	—	—	—	—	—
»	500	600—800	200	360	8	15	9—11	500	—	—	—	—	—
Латунь Л-63	275	400—600	50	120	3	20	3,1—4,6	275	600—1000	30	180	20	5,0—8,3
»	400	600—800	120	300	6	20	9,2—12,6	400	600—1000	80	300	20	10,6—17,4
»	500	600—800	180	360	7	20	13,2—17,4	500	700—1000	120	360	20	19,3—24,0
Алюминий	275	400—600	50	120	2—3	20	0,9—1,4	275	600—1000	30	180	20	1,5—2,5
»	400	600—800	120	300	4	20	2,8—3,7	400	600—1000	80	300	20	3,2—5,2
»	500	600—800	180	360	6	20	4,0—5,4	500	700—1000	120	360	20	5,8—8,2
Дуралюмин	275	300—500	60	120	4	10	0,38—0,57	275	500—900	50	180	12	0,86—1,5
»	400	500—800	120	300	6	12	1,5—2,4	400	600—900	120	300	14	2,5—3,7
»	500	500—800	150	360	8	12	2,3—3,7	500	600—1000	180	360	14	4—6,6

к применению полых слитков. Полые слитки обычно изготовляют отливкой центробежной или отливкой в изложницу с чугунным стержнем по середине, который и образует отверстие нужного диаметра.

После отливки отверстие растачивают, а при производстве труб ответственного назначения слитки обрабатывают и снаружи для удаления плен и других пороков отливки на специальных токарных станках. После просмотра и разбраковки слитки нагревают и они идут на прессование. Таким методом готовят трубы из дуралюмина, электрона и т. п. Для обеспечения надлежащих высоких качеств профилей, идущих для самолетостроения, слитки перед прессованием также иногда обтачивают по поверхности и тщательно просматривают.

Таблица 44

Размеры контейнеров разных прессов, работающих на наших заводах, мм

№ по пор.	Пресс			Контейнер	
	тип	фиг.	давление т	диаметр мм	длина мм
1	Горизонтальный	143	3000	280	1000
	»	143	3000	370	1000
	»	143	3000	400	1000
2	»	141	3000	200	1000
	»	141	3000	280	1000
	»	141	3000	370	1000
	»	141	3000	420	1000
3	»	141	1500	170	700
	»	141	1500	200	700
4	»	141	1000	150	600
	»	141	1000	180	600
5	»	133	5000	280	1200
	»	133	5000	410	1200
	»	133	5000	520	1200
6	»	133	2500	205	900
	»	133	2500	255	900
	»	133	2500	306	900
	»	133	2500	408	900
7	»	133	1500	155	700
	»	133	1500	180	700
8	Вертикальный	151	600	85	340
	»	151	600	100	340
	»	151	600	120	340
9	»	150	300	60	200
	»	150	300	70	200

При такой подготовке слитка снимают 2—5 мм на сторону, что, конечно, нужно иметь в виду при определении его диаметра.

Получать для прессования труб полые слитки посредством сверления цельных не следует, так как это дает большой процент отходов.

Насколько этим методом можно для данного пресса получить трубы бо́льшего диаметра против максимально возможного при применении прошивки, можно видеть из следующего примера.

Максимальным размером трубы, которую можно получить с 2000-т пресса, применяя прошивку, является труба 250 × 230 мм. Практика однако показывает, что возможно, увеличив диаметр контейнера с 360 на 370 мм и применив полый слиток диаметром 365 × 260 мм и длиной 500 мм, получить с этого же пресса медную трубу 290 × 260 мм, т. е. значительно большего диаметра.

Таблица 45

Нормальная длина трубных слитков для горизонтальных прессов, мм
(нормы Гипроцветметобработки)

№ по пор.	Материал	Диаметры слитка/контейнера, мм				
		145 / 150	175 / 180	195 / 200 — 205	245 / 250 — 255	390 / 400 — 408
1	Медь	200	450	460	480	600
2	Латунь Л-62	500	500	440	—	500
3	» Л-59, ЛС-59, ЛМ-62	500	500	—	500	—
4	» ЛС-9	—	—	500	425	—
5	» ЛЖМ	500	500	500	425	—
6	Бронза алюминиевая	400	400	—	500	—
7	» марганцовистая	500	500	500	—	—
8	» алюминиево-железо-марганцовистая	400	300	500	425	—
9	» КВ	—	—	—	380	—
10	» Карро	—	—	500	—	—
11	» Куниаль А	—	—	500	—	—

Таблица 46

Нормальная длина трубных слитков для вертикальных 600-т прессов, мм
(нормы Гипроцветметобработки)

№ по пор.	Материал	Диаметр контейнера, мм	
		85	100
1	Медь	—	135
2	Латунь Л-62	—	145
3	» Л-68	—	120
4	» ЛМ-70	—	115
5	Мельхиор	142	—

Получить такую трубу из цельного слитка было бы невозможно, так как прошивного давления иглы было бы для этого недостаточно.

Кроме того, применение полых слитков дает экономию на отходах, так как при этом не получается отхода от прошивки дыры, что при трубах большого диаметра имеет промадное значение. Отливка таких полых слитков, конечно, более дорога, чем простых цельных.

Установив таким образом, на каком прессе и из какого контейнера будет итти прессование требуемой заготовки, необходимо в сомнительных случаях, произведя подсчет, проверить возможность осуществления этой работы.

Такой подсчет делают на основе формул проф. доктора С. И. Губкина, приведенных в главе I настоящей книги, и приведенных там же необходимых констант (коэфициенты трения, давления истечения и пр.). Ниже приводим примеры расчета силы давления, необходимого для прессования прутков и труб на основе указанных данных, и делаем сравнение полученных данных с данными практики.

Пример 1. Определить размеры слитка и по формулам С. И. Губкина давление пресса для производства медных прутков диаметром 40 мм.

Сечение прутка

$$f = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 40^2}{4} = 1256 \text{ мм}^2.$$

Если коэфициент вытяжки примем $\lambda = 15$, то минимальное сечение F и диаметр слитка D должны быть

$$F = 1256 \cdot 15 = 18\,840 \text{ мм}^2,$$

откуда

$$D \approx 160 \text{ мм}.$$

Предположим, что имеется 2500-т пресс с контейнером 205; 255; 306 и 408 мм. Берем ближайший меньший, т. е. $D_k = 205$ мм, и предположим, что, учитывая длину заданных протяжным цехом прутков и прибавив величину необходимых отходов, мы определяем длину слитка в 725 мм; с точки зрения возможности получения доброкачественного прутка эта длина вполне допустима. При принятом диаметре контейнера в 205 мм и диаметре слитка в 200 мм его длина 725 мм после запрессовки в контейнере будет:

$$L = \frac{200^2}{205^2} \cdot 725 = \frac{40\,000}{42\,025} \cdot 725 = 700 \text{ мм},$$

площадь сечения контейнера

$$F = \frac{\pi}{4} 205^2 = 33\,006 \text{ мм}^2.$$

Это дает коэфициент вытяжки

$$\lambda = \frac{33\,006}{1256} = 26{,}3,$$

или степень обжатия

$$\delta = 1 - \frac{1}{\lambda} = 1 - \frac{1}{26{,}3} = 0{,}962, \text{ или } 96{,}2\%,$$

это, конечно, еще лучше обеспечивает надлежащие качества изделия.

Примем угол наклона образующей очка матрицы с осью $\alpha = 65°$ и коэфициентом трения $\mu = 0{,}15$. При температуре прессования 850° величина истинного напряжения текучести может быть принята $p_m = 2$ кг/мм².

По формуле (9) напряжение у матрицы будет

$$\sigma_м = p_m \left(1 + \frac{\operatorname{tg}\alpha}{\mu}\right) \cdot \left[\left(\frac{D}{d}\right)^{\frac{2\mu}{\operatorname{tg}\alpha}} - 1\right] = 2\left(1 + \frac{2{,}145}{0{,}15}\right) \cdot \left[\left(\frac{205}{40}\right)^{\frac{2 \cdot 0{,}15}{2{,}145}} - 1\right] = 2 \cdot 15{,}3 \times$$

$$\times 5{,}15^{0{,}14} = 2 \cdot 15{,}3 \cdot 0{,}25 = 7{,}65 \text{ кг/мм}^2.$$

Для обеспечения такого напряжения у матрицы удельное давление на шайбу должно быть

$$k = (\sigma_м + p_m) \cdot e^{\frac{4\mu L}{D}} - p_m = (7{,}65 + 2) \cdot e^{\frac{4 \cdot 0{,}15 \cdot 700}{205}} - 2 = 9{,}65 \cdot e^{2{,}0} - 2 = 9{,}65 \cdot 7{,}39 - 2 =$$

$$= 69{,}31 \text{ кг/мм}^2.$$

Делая поправку на неравномерность напряженного состояния и приняв на основе сказанного выше в главе I коэфициент $m = 1{,}2$, получаем действительное удельное давление на прессшайбу

$$\sigma = 69{,}31 \cdot 1{,}2 = 83{,}2 \text{ кг/мм}^2.$$

Отсюда потребное давление пресса должно быть

$$P = 83{,}2 \cdot 33\,006 = 2\,746\,099 \text{ кг} = 2746{,}1 \text{ т},$$

т. е. такую работу 2500-т пресс выполнить не может.

Решим тогда обратную задачу: какой предельной длины слиток возможен для того, чтобы 2500-т пресс мог выполнить эту работу.

Так как $P = \frac{\sigma F}{0{,}85}$, то отсюда удельное давление σ должно быть не более

$$\sigma = \frac{P \cdot 0{,}85}{F} = \frac{2500000 \cdot 0{,}85}{33006} = 64 \text{ кг/мм}^2.$$

Но $\sigma = m \cdot k$, следовательно, k для этого должно быть не более

$$k \geqslant \frac{64}{1{,}2} \geqslant 53 \text{ кг/мм}^2.$$

Вместе с тем, так как

$$k = (\sigma_и + P_т) \cdot e^{\frac{4\mu L}{D}} - P_т,$$

то отсюда можно определить, чему должно быть равно L:

$$k = 9{,}65 \cdot e^{\frac{4 \cdot 0{,}15 L}{205}} - 2 = 53; \quad e^{0{,}003\,L} = 5{,}7.$$

Логарифмируя, имеем

$$0{,}003\,L \cdot \lg e = \lg 5{,}7,$$

откуда

$$L = \frac{\lg 5{,}7}{\lg 2{,}718} \cdot \frac{1}{0{,}0035} = \frac{0{,}756}{0{,}4345 \cdot 0{,}0035} = \frac{0{,}756}{0{,}0015} \approx 500 \text{ мм}.$$

Пример 2. На 2500-т прессе из слитков диаметром 200 и длиной 400 мм изготовляют медные трубы диаметром 88×80 мм; диаметр контейнера 205 мм. Возможно ли увеличить длину слитка до 600 мм, чтобы лучше использовать мощность пресса?

$$F_0 = \frac{\pi}{4}(205^2 - 80^2) = 27\,380 \text{ мм}^2;$$

$$f = \frac{\pi}{4}(88^2 - 80^2) = 1053 \text{ мм}^2.$$

Вытяжка

$$\lambda = \frac{27\,380}{1053} = 26$$

или

$$\delta = 96{,}5\%;$$

коэфициент запрессовки

$$k = \frac{205^2}{200^2} = 1{,}05.$$

Длина слитка после запрессовки, принятая

$$\frac{400}{1{,}05} = 375 \text{ мм};$$

проектируемая

$$\frac{600}{1{,}05} = 570 \text{ мм}.$$

Ввиду намечаемого значительного удлинения процесса прессования и небольшой толщины стенки трубы и вследствие этого возможности значительного охлаждения материала, примем температуру его у матрицы около 850° и в соответствии с этим определим величину $p_т = 2{,}0$ кг/мм² и $\mu = 0{,}15$.

Тогда

$$\frac{\operatorname{tg}\alpha}{\mu} = \frac{2{,}145}{0{,}15} = 14{,}3 \text{ и } \frac{\mu}{\operatorname{tg}\alpha} = 0{,}07;$$

$$\sigma_и = 2{,}0\,(1 + 14{,}3) \cdot \left(26^{0{,}07} - 1\right) = 2 \cdot 15{,}3 \cdot 0{,}315 = 9{,}64 \text{ кг/мм}^2;$$

$$k = (9{,}64 + 2) \cdot e^{\frac{4 \cdot 0{,}15 \cdot 570 \cdot 1}{205 - 80}} - 2 = 11{,}64 \cdot e^{1{,}38} - 2{,}0 = 11{,}64 \cdot 4 - 2{,}0 = 44{,}56 \text{ кг/мм}^2;$$

$$P_0 = \frac{1{,}5 \cdot 44{,}56 \cdot 27\,380}{0{,}85} = 2\,160\,000 \text{ кг} = 2160 \text{ т}.$$

Отсюда видно, что увеличить длину слитка до 600 мм вполне было бы возможно. С точки зрения качества трубы при таком материале, как медь, опасений быть не может. Это ясно видно из данных табл. 5 (стр. 70). Вопрос может еще стоять о давлении прошивного устройства. Проверим возможность прошивки слитка длиной 570 мм.

По формуле (19) удельное давление на иглу будет:

а) при $L = 375$ мм:

$$\sigma_{прош} = p_m\left(1+e^{\frac{4\mu L}{D-d_1}}\right) = 2\left(1+e^{\frac{4\cdot 0{,}15\cdot 375}{205-80}}\right) = 2\,(1+e^{1{,}8}) = 2\cdot(1+6) = 14 \text{ кг/мм}^2$$

и величина полного давления на иглу диаметром 80 мм или сечением $f_1 = 5026$ мм^2

$$P_{прош} = \frac{m\sigma_{прош}\cdot f_1}{\eta} = \frac{1{,}5\cdot 14\cdot 5026}{0{,}9} = 127\,000 \text{ кг} = 127 \text{ т};$$

б) при $L = 570$ мм:

$$\sigma_{прош} = 2\,(1+e^{2{,}7}) = 2\,(1+15) = 32 \text{ кг/мм}^2$$

и

$$P_{прош} = \frac{1{,}5\cdot 32\cdot 5026}{0{,}9} = 270\,000 \text{ кг} = 270 \text{ т}.$$

Пресс имеет диаметр плунжера рабочего хода $d = 460$ мм или сечение $f = 166\,190$ мм^2, что определяет предельную величину усилия прошивки при давлении воды $p_1 = 200$ кг/см^2, равную

$$P_{прош} = 1661{,}9\cdot 200 = 332\,380 \text{ кг} = 332 \text{ т}.$$

Таким образом и прошивное устройство позволяет увеличить длину слитка с 400 до 600 мм, а это повысит производительность пресса почти в полтора раза.

Длина трубы после прессования будет равна

$$L_{трубы} = 570\cdot 26 = 13\,020 \text{ мм},$$

т. е. не будет чрезмерно большой.

Пример 3. Медные трубы диаметром 58 × 50 мм прессуют из слитка 200 × × 335 мм на 2500-т прессе из контейнера 205 мм. Проверить, нельзя ли эту работу передать на 1500-т пресс. Температура прессования $t = 825°$.

$$F_0 = \frac{\pi}{4}(205^2 - 50^2) = 33\,006 - 1964 = 31\,142 \text{ мм}^2;$$

$$f = \frac{\pi}{4}(58^2 - 50^2) = 2642 - 1964 = 678 \text{ мм}^2;$$

Коэфициент вытяжки $\lambda = \frac{31\,142}{678} = 46$ или $\delta = 98\%$.

$$\frac{\operatorname{tg}\alpha}{\mu} = \frac{2{,}145}{0{,}18} = 11{,}9;$$

$$\frac{\mu}{\operatorname{tg}\alpha} = \frac{0{,}18}{2{,}145} = 0{,}084.$$

Коэфициент запрессовки

$$k = \frac{205^2}{200^2} = 1{,}05.$$

Длина слитка после запрессовки

$$L = \frac{335}{1{,}05} = 320 \text{ мм},$$

$$\sigma_м = 2{,}3\,(1+11{,}9)\cdot(46^{0{,}084}-1) = 2{,}3\cdot 12{,}9\,(1{,}38-1) = 29{,}7\cdot 0{,}38 = 11{,}25 \text{ кг/мм}^2;$$

$$k = (11{,}25+2{,}3)\cdot e^{\frac{4\cdot 0{,}18\cdot 320\cdot 1}{205-50}} - 2{,}3 = 13{,}55\cdot e^{0{,}75} - 2{,}3 = 13{,}55\cdot 2{,}12 - 2{,}3 = 28{,}7 - 2{,}3 = 26{,}4 \text{ кг/мм}^2;$$

$$P_{расч} = \frac{1{,}5\cdot 26{,}4\cdot 31\,142}{0{,}85} = 1\,450\,000 \text{ кг} = 1450 \text{ т}^1$$

---

[1] Опытное на практике $P_0 = 1315$—1378—1500—1565 в зависимости от температуры слитка; в среднем $P_0 = 1430$ т, что близко к расчетной величине 1450 т.

Пример 4. Определить давление пресса для изготовления латунных труб Л-62 диаметром 98 × 90 мм из слитка диаметром 200 мм и длиной 400 мм. Диаметр контейнера $D_k = 205$ мм.

Примем $p_m = 1{,}3$ кг/мм² и $\mu = 0{,}2$:

$$F_0 = \frac{\pi}{4}(205^2 - 90^2) = 33\,006 - 6362 = 26\,644 \text{ мм}^2;$$

$$f = \frac{\pi}{4}(98^2 - 90^2) = 7543 - 6362 = 1181 \text{ мм}^2;$$

$$\text{Коэфициент запрессовки } k = \frac{205^2}{200^2} = 1{,}05;$$

$$\frac{\operatorname{tg}\alpha}{\mu} = \frac{2{,}145}{0{,}2} = 10{,}7;$$

$$\frac{\mu}{\operatorname{tg}\alpha} = \frac{0{,}2}{2{,}145} = 0{,}09.$$

Коэфициент вытяжки $\lambda = \frac{26\,644}{1181} = 21{,}5$, или $\delta = 95\%$.

Длина слитка после запрессовки $\frac{400}{1{,}05} = 375$ мм;

$$\sigma_ж = 1{,}3 \cdot 11{,}7\ (21{,}5^{\frac{0{,}09}{}} - 1) = 1{,}3 \cdot 11{,}7 \cdot 0{,}32 = 5{,}25 \text{ кг/мм}^2;$$

$$= (5{,}25 + 1{,}3)\, e^{\frac{4 \cdot 0.2 \cdot 375 \cdot 1}{205-90}} - 1{,}3 = 6{,}55 \cdot e^{1{,}3} - 1{,}3 = 6{,}55 \cdot 3{,}67 - 1{,}3 = 22{,}7 \text{ кг/мм}^2$$

$$P_{расч} = \frac{1{,}5 \cdot 22{,}7 \cdot 26\,644}{0{,}85} = 1\,060\,000 \text{ кг} = 1060 \text{ т}^1.$$

На основе данных опыта и расчетов, учтя величину прессостатка (об этом будет сказано далее), необходимого для обеспечения надлежащих качеств изделий, прессовый цех составляет спецификацию слитков для разного размера заготовки для труб и прутков и распределяет эти слитки и изделия по имеющимся у него прессам. Этими материалами он пользуется постоянно в производстве для подбора слитков и прессов по выданным ему заказам.

7. СТАНДАРТ НА СЛИТКИ И ДОПУСКИ

Выше было указано важное значение тщательного подбора по диаметру заготовки во избежание поломки игл, порчи матриц, брака по разностенности и пр. при работе на вертикальных прессах, не имеющих независимого от пуансона хода иглы.

Для работы на всех прессах — горизонтальных и вертикальных — с независимым ходом иглы диаметр слитка не имеет такого значения, как на прессах с иглой, укрепленной в пуансоне и не имеющей независимого от него хода, но во всяком случае это еще не значит, что размеры, длина и диаметр подаваемых литейным цехом слитков могут быть какими угодно.

Не следует забывать, что размеры слитка определяют, учитывая известные минимально потребные отходы, возможность получения одного или нескольких изделий определенной длины, заданной протяжным цехом. Если литейный цех будет давать прессовому цеху слитки любого диаметра и длины без определенных на это допусков, то в прессовом цехе получатся излишние отходы, а при прессовании крупных изделий, которых выходит из слитка по одной штуке, и брак, если длина будет меньше требуемой.

Количество отходов и брака увеличится, если литейный цех будет доставлять слитки с пленами, раковинами, недоливами, с длинной усадочной рыхлостью или раковиной и т. п.

---

[1] P_0 опытное $= 1000 - 1190$ т, что близко к расчетной величине 1060 т.

Все эти соображения говорят о том, что прессовым цехом совместно с литейным обязательно должны быть разработаны стандарты на слитки и к ним технические условия приемки.

В виде образца такого стандарта по допускам в размерах в табл. 47 приведен примерный стандарт на слитки, в котором оговорены допускаемые отклонения по их диаметру и длине.

Таблица 47

Стандарт на слитки для горизонтальных и вертикальных прессов

№ по пор.	Контейнер: диаметр мм	Контейнер: длина, мм	Пресс т	Слиток: диаметр мм	Слиток: длина, мм	Допуск по длине мм	Наименьшая допустимая длина мм	Назначение слитков
1	100	340	600	90	135	± 15	100	Для труб сплава ЛМ-70
2	120	340	600	105	135	± 15	100	То же Л-68
3	125	500	700	120	200	± 15	150	Для прутков и мелких профилей
4	125	500	700	120	350	± 15	250	Для прутков и профилей
5	125	500	700	120	460	± 25	400	Для прутков
6	150	600	1000	145	240	± 15	170	Для труб, прутков и профилей
7	150	600	1000	145	350	± 15	250	То же
8	155	700	1500	150	240	± 15	200	Для труб и турбинных лопаток
9	155	700	1500	150	275	+50—20	200	Для прутков сплава Карро
10	155	700	1500	150	350	± 15	250	Для труб и турбинных лопаток
11	180	700	1500	175	235	± 15	200	Для турбинных лопаток
12	180	700	15 0	175	275	± 15	200	То же
13	180	700	1500	175	350	± 15	250	Для труб
14	180	700	1500	175	475	± 25	350	Для прутков и профилей
15	205	900	2500	200	375	± 25	250	Для труб всех сплавов
16	205	900	2500	200	550	± 25	450	Для прутков и профилей
17	255	900	2500	250	380	+50—20	300	Для труб
18	255	900	2500	250	425	± 25	300	Для труб всех сплавов и прутков БАЖМ
19	255	900	2500	250	650	± 25	500	Для прутков и профилей
20	306	900	2500	300	475	± 25	375	Для труб
21	306	900	2500	300	755	± 25	375	Для труб и прутков
22	408	900	2500	400	550	± 25	400	Для труб

Примечания. 1. Для слитков БАЖМ диаметром 400 мм длина должна быть меньше.

2. Допуск по диаметру для слитков диаметром 90 и 105 мм равен 4 мм, для остальных диаметров—6 мм.

8. ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ПРЕССОВ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ И МОЩНОСТИ

Производительность прессовой установки, как и всякого обрабатывающего агрегата, зависит от двух факторов: 1) от времени, затрачиваемого на самую обработку, — полезного времени; 2) от времени, необходимого для того, чтобы подать слиток к прессу, ввести его в контейнер, по окончании прессования открыть замок, удалить остаток из контейнера, отрезать отпрессованное изделие от остатка, ввести матрицу на место, закрыть замок, отвести пуансон и иглу в исходное положение, охладить инструмент, очистить контейнер и пр. — вспомогательного времени — и приготовить таким образом пресс для дальнейшей работы.

Для того, чтобы судить о времени, потребном для выполнения каждой из этих операций, приведем в виде примера данные хронометража для нескольких систем прессов.

1. Горизонтальный 1000-т пресс. Последовательность и средняя продолжительность операций на этом прессе при производстве латунных труб дана в табл. 48.

Таблица 48

Продолжительность операций при прессовании латунных труб на 1000-т прессе

№ по пор.	Наименование операций	Продолжительность операций сек.
1	Введение слитка в контейнер: водой низкого давления в главный цилиндр и высокого — в цилиндр прямого хода иглы	3,4
2	Обжатие слитка перед прошивкой его иглой	0,5
3	Прошивка отверстия иглой	8,5
4	Прессование трубы пуансоном	10,4
5	Подъем замка	1,2
6	Выдача остатка из контейнера на переднюю сторону пресса	1,3
7	Продвижение остатка дальше к ножницам	5,0
7а	Обратный полный ход главного плунжера и пуансона в исходное положение	7,0
7б	То же, иглы	5,0
8	Отрезка трубы от остатка	2,0
9	Продвижение остатка дальше	3,2
10	Охлаждение иглы, очистка и смазка контейнера и иглы	22,0
11	Отвод после охлаждения иглы в исходное положение	3,2
11а	Подача нового инструмента и слитка	9,2
12	Введение матрицы на место	8,0
13	Запор замка	1,2
	Итого	91,1

Так как операции 7а, 7б и 11а продолжительностью в $7+5+9{,}2=21{,}2$ сек. при уплотненной работе могут быть сокращены и могут протекать параллельно с другими операциями, возможная продолжительность прессования одного слитка определяется в

$$\tau = 91{,}1 - 21{,}2 \approx 70 \text{ сек.},$$

и, следовательно, возможная производительность такого пресса $3600:70 \approx 51$ прессование в час; при менее уплотненной работе производительность $3600:91{,}1 \approx 40$ прессований в час.

2. Вертикальный 300-т пресс типа фиг. 150. Хронометраж работы этого агрегата при прессовании алюминиевой заготовки диаметром 69 мм и длиной 100 мм на трубы диаметром 29×25 мм, длиной 1950 мм показал следующую затрату времени на отдельные машинные операции:

1.	Подвод иглы и пуансона к заготовке и ввод ее в контейнер пресса	2,0 сек.
2.	Прошивка заготовки	1,2 »
3.	Прессование трубы	0,9 »
4.	Подъем плунжера в исходное положение	2,1 »
5.	Отрезка трубы от остатка	1,3 »
6.	Подъем плунжера в исходное положение	1,9 »
	Итого затрата машинного времени	9,4 сек

Таблица 49

Средняя производительность гидравлических прессов (при прессовании труб)[1]

№ по пор.	Материал	Размеры слитка мм	Число прессовок в час
	А. Трубы		
	I. Пресс горизонтальный 3000-т		
1	Медь	200×450	16—17
2	»	200×500	16—17
3	»	250×400	17—18
4	»	400×500	12—15
5	»	400×600	10—12
6	Латунь Л-59, ЛС-59, Л-62, ЛМ-62	200×400	21—22
7	» »	250×500	18—19
8	» »	400×500	16—18
9	» ЛЖМ	200×500	17—18
10	» »	250×475	20—21
11	Бронза алюминиевая	250×500	19—20
12	» марганцовистая	200×500	27—28
13	» БАЖМ	200×500	21—22
14	» »	250×425	20—21
15	» КВ	250×400	22—23
16	» Куниаль	200×500	12—15
	II. Пресс горизонтальный 1500-т		
17	Медь	150×200	37—40
18	То же	175×350	25—27
19	» »	175×375	22—23
20	» »	175×400	21—22
21	» »	175×450	19—20
22	Латунь Л-62	150×220	42—43
23	Латунь Л-62	150×500	35—41
24	То же	175×350	35—38
25	»	175×400	32—33
26	»	175×500	29—30
27	Латунь Л-59	150×500	29—30
28	То же	175×500	29—30
29	» ЛС-59	150×500	35—41
30	То же	175×500	32—35
31	Бронза алюминиевая	150×400	30—35
32	» »	175×400	30—35
33	» марганцовистая	150×500	35—40
34	» »	175×500	35—40
35	» БАЖМ	150×400	32—35
		50×175×300	37—38
	III. Пресс вертикальный 600-т		
36	Медь	97,5×135	74
37	Латунь Л-68	97,5×24×125	76
38	То же	97,5×26×145	75
39	Латунь Л 62	97,5×120	72—80
40	» ЛМ-70	97,5×24×110	83—84
41	То же	97,5×26×110	79—80
42	Мельхиор 80/20	83,5×22×150	64—65
	Б. Прутки		
	Пресс горизонтальный 1000—1500 т		
43	Медь	150×450	58—60
44	Латунь Л-62	150×450	60—65

[1] К середине 1944 года указанная производительность перевыполняется нашими заводами от 1,5 до 2 раз.

7. Продолжительность всех полезных и вспомогательных операций (подача заготовки, подводка прорезного пуансона, его съемка, охлаждение иглы и т. п.) . . . . . 25,7 сек.

Всего затрата времени на одно прессование . . . 35,1 сек.

Отсюда максимальная производительность пресса определяется в $3600 : 35{,}1 \approx 102$ прессования в час.

Норма выработки таких труб на практике принята в 93 трубы и временами пиковая выработка достигает 120 шт. в час.

В табл. 49 приведена средняя производительность прессов для равного размера слитков и разных сплавов, составленная на основе практики наших и заграничных заводов и принятая в проектах Гипроцветметобработкой.

Приведенные в табл. 49 цифры нужно рассматривать как средние. Они могут изменяться в зависимости от длины слитка, размеров прессуемого изделия или коэфициента вытяжки, от механизации подачи слитка, от скорости ввода и вывода матрицы и замка, от скорости отрезки прессостатка и т. п.

Действительные цифры производительности прессов необходимо устанавливать, хронометрируя работы ручных операций, изучая полученные результаты на базе этого уплотнения работ и расчета машинного времени прессования по нормальной для данного сплава скорости истечения.

Разницу в числе прессовок в час определит лишь машинное время, затрачиваемое на запрессовку, прошивку и прессование слитка. Поэтому, если для какого-либо одного сплава и одного размера слитков будет определена продолжительность цикла, т. е. машинное и добавочное время, то для всех других сплавов продолжительность цикла, следовательно, и количество прессований в час слитков такого же размера определятся просто по основному машинному времени, которое легко и достаточно точно определяется по скоростям истечения материала из матрицы, и такой же величины добавочному времени. Зная производительность пресса в час и машинное время на указанные основные операции для данных размеров слитка и данного сплава, можно определить по длине изделия и вытяжке продолжительность цикла для всякого другого размера слитка того же сплава и получаемого из него изделия.

9. ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ПРЕССОВ, ЕГО ФОРМА, РАЗМЕРЫ, МАТЕРИАЛ, СТОЙКОСТЬ И МЕРЫ К УВЕЛИЧЕНИЮ СРОКА ЕГО СЛУЖБЫ

Производительность установки и себестоимость получаемых прессованием изделий в значительной степени зависят от стойкости инструмента, так как стоимость инструмента составляет около 14—15% стоимости передела прессового цеха. На удешевление этой статьи цехового расхода должно быть обращено серьезное внимание.

Удешевление себестоимости передела крайне осложняется условиями работы прессового инструмента, работающего всегда на сжатие, растяжение и истирание при высоких температурах (примерно нормально 300—400° и максимально до 700°). Поэтому на его изготовление может применяться только специальная, легированная сталь, могущая и при таких высоких температурах выдерживать громадные напряжения, которым подвергается инструмент при работе. Пуансон работает при напряжениях сжатия, достигающих 14 000—15 000 кг/см²; немного меньшим напряжениям растяжения подвергается самая от-

ветственная часть пресса — его контейнер и т. д. Например, для пресса в 2500 т с минимальным контейнером диаметром 200 мм максимальное удельное давление, приходящееся на прессшайбу, определяется из равенства

$$P_0 = \frac{\pi D^2}{4}\sigma,$$

где P_0 — полное давление пресса;

D — диаметр прессшайбы;

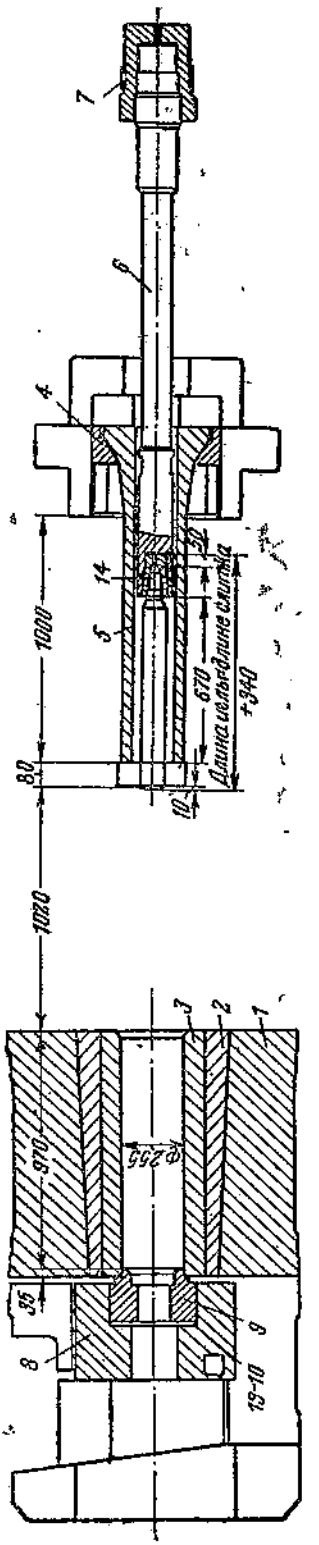
σ — искомое удельное давление.

Отсюда

$$\sigma = \frac{4P_0}{\pi D^2} = \frac{2\,500\,000}{314} \approx 8000 \text{ кг/см}^2.$$

Это давление передается в большой мере и стенкам втулки контейнера.

Поэтому на выбор стали для прессового инструмента, на форму, расчет и его изготовление, равно как на бережное отношение к прессовому инструменту при эксплоатации (надлежащее охлаждение, тщательная смазка, качество смазки, предварительная запрессовка слитка в контейнере перед прошивкой во избежание искривления и поломки иглы и т. п.) всегда необходимо обращать самое большое внимание. Разберем все эти факторы каждый в отдельности.



Фиг. 223. Схема главнейшего рабочего инструмента горизонтального 2500-т трубного пресса Шлемана (ход 2100 мм, давление 200 ат):

1 — корпус контейнера; 2 — наружная втулка контейнера; 3 — вставная втулка контейнера; 4 — нажимное кольцо для крепления пуансона 5 в головке главного плунжера; 5 — пуансон для труб; 6 — иглодержатель; 7 — переходная муфта; 8 — головка матрицедержателя; 9 — матрицедержатель; 10 — установочное кольцо из листового железа толщиной 5 мм; 11 — то же кольцо, но толщиной 2 мм; 12 — то же кольцо, толщиной 1 мм; 13 — то же кольцо, толщиной 0,5 мм; 14 — переходная муфта

Выбор стали

На фиг. 223 изображена схема главнейшего рабочего инструмента горизонтального пресса. Ниже в таблицах указаны рекомендуемые марки стали для производства прессового инструмента.

Соответственно условиям работы сталь должна удовлетворять следующим требованиям:

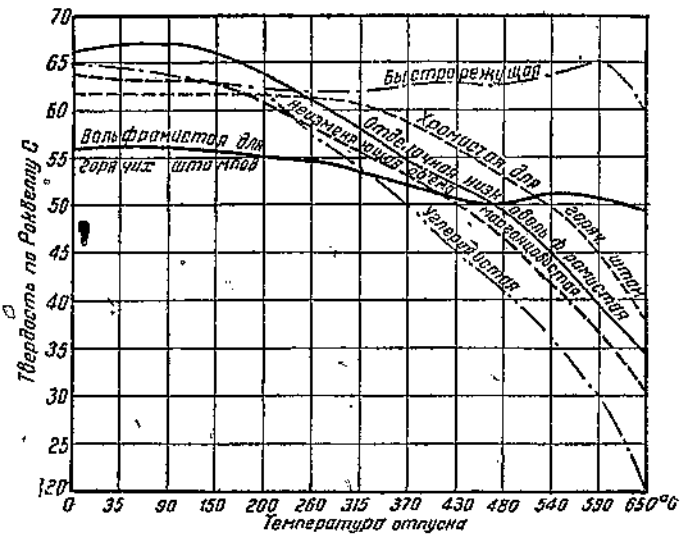
1) сохранять при высоких температурах свою крепость и твер-

2) хорошо сопротивляться истиранию (втулка контейнера, игла, матрица);

3) быть нехрупкой, чтобы выдерживать достаточно сильные толчки при прессовании;

4) практически не изменять при нагреве своего объема, в противном случае при расширении или сжатии иглы или матрицы изделия не будут иметь требуемых размеров.

Таким требованиям обычные углеродистые стали удовлетворяют очень плохо. Поэтому приходится применять легированные стали с присадкой вольфрама, хрома, ванадия, никеля и пр. В особенности полезной в данном случае примесью является вольфрам, который, как показывает диаграмма фиг. 224 [1], придает стали с такой присадкой почти полную неизменяемость в отношении твердости вне зависимости от температуры закалки.



Фиг. 224. Изменение твердости закаленных инструментальных сталей в зависимости от температуры (по Уиллису)

Эту сталь закаливают большей частью в масле при 1100—1150°, получая при этом твердость по Роквеллу (шкала С), равную 50, которая после отпуска повышается до R_c=65, и эту величину сохраняет при нагреве до 650°. Такая сталь весьма чувствительна к резкому водяному охлаждению и может давать при быстром охлаждении и при термической обработке трещины из-за объемных изменений значительно скорее, чем хромистая. Поэтому чистые вольфрамистые стали для этой цели обычно и не применяют, а всегда с примесью некоторых количеств хрома, который к тому же придает стали еще и хорошую сопротивляемость истиранию. Закаленная хромистая сталь при обычной температуре мягче закаленной углеродистой, но зато при высоких температурах она значительно тверже ее, что также иллюстрирует диаграмма фиг. 225, показывающая изменение твердости таких закаленных инструментальных сталей в зависимости от температуры отпуска.

В табл. 50 дана спецификация наших сталей, показавших себя во время работы с медью и латунями на горизонтальных прессах с

[1] Н. Бюлховитинов, Металлография и термическая обработка стали, ГНТИ, 1931, стр. 324, фиг. 243.

Таблица 50

Механические свойства стали для прессового инструмента

№ по пор.	Пресс: тоннаж т	Пресс: тип	Инструмент: наименование	Инструмент: размеры	Марка стали	После закалки: твердость (шарик 10 мм, нагрузка 3000 кг, выдержка 30 сек.): диаметр отпечатка, мм	После закалки: твердость (шарик 10 мм, нагрузка 3000 кг, выдержка 30 сек.): H_B	Временное сопротивление σ_B кг/мм²	После отпуска: твердость (шарик 10 мм, нагрузка 3000 кг, выдержка 30 сек.): диаметр отпечатка, мм	После отпуска: твердость (шарик 10 мм, нагрузка 3000 кг, выдержка 30 сек.): H_B	После отпуска: временное сопротивление σ_B кг/мм²
1	300	Вертикальный	Иглы	Всех размеров	3ХВ8	2,75—2,6	495—555	170—191	2,9 —2,75	444—495	153—170
2	600	»	»	» »	»	2,75—2,6	495—555	170—191	2,9 —2,75	444—495	153—170
3	1000—3000	Горизонтальный	»	20—25	»	2,75—2,6	495—555	170—191	2,9 —2,75	444—495	153—170
4	1000—3000	»	»	30—35	»	2,75—2,6	495—555	170—191	2,95—2,75	430—495	147—170
5	1000—3000	»	»	40—45	4ХВС и 3ХВ8	2,7—2,5	512—600	176—207	2,95—2,75	430—495	147—170
6	1000—3000	»	»	60—70	4ХВС	2,7—2,5	512—600	176—207	2,8 —3,0	418—477	143—164
7	1000—3000	»	»	75—100	»	2,7—2,5	512—600	176—207	2,8 —3,0	418—477	143—164
8	1000—3000	»	»	105—120	»	2,7—2,5	512—555	176—191	2,9 —3,15	375—444	129—153
9	1000—3000	»	»	125—140	»	2,8—2,7	477—512	164—176	2,9 —3,15	375—444	129—153
10	1000—3000	»	»	145—160	4ХВС и 4ХНВ	2,95—2,7	429—512	147—175	3,0 —3,2	364—418	125—143
11	1000—3000	»	»	170—220	»	2,95—2,7	429—512	147—175	3,0 —3,25	351—418	121—143
12	300	Вертикальный	Матрицы	Всех размеров	3ХВ8	2,75—2,6	495—555	170—191	3,0 —2,75	418—495	143—170
13	600	»	»	» »	»	2,75—2,6	495—555	170—191	3,0 —2,75	418—495	143—170
14	1000—3000	Горизонтальный	»	» »	»	2,75—2,6	495—555	170—191	3,1 —2,8	387—477	133—164
15	300 и 600	Вертикальный	Иглодержатель	» »	»	2,77—2,6	495—555	170—191	2,95—2,8	430—477	147—143
16	Всех прессов		Матрицедержатель	» »	4ХНВ	2,95—2,8	429—477	147—164	3,25—3,0	351—444	121—143
17	300 и 600	Вертикальный	Рубашки	» »	»	2,95—2,8	429—477	147—164	3,0 —2,8	418—477	143—164
18	300 и 600	»	»	» »	3ХВ8	2,75—2,6	495—555	170—191	2,95—2,8	430—477	147—164
19	300 и 600	»	Пуансоны	» »	4ХНВ	2,95—2,8	429—477	147—164	3,15—2,9	375—444	129—153

Примечание. Для прессования медноникелевых и других тяжело прессуемых сплавов закалка стали для матрицы должна обеспечивать временное сопротивление не ниже $\sigma_B = 164$ кг/мм².

Таблица 51

Состав отечественных сталей, рекомендуемых для прессового инструмента вертикальных прессов

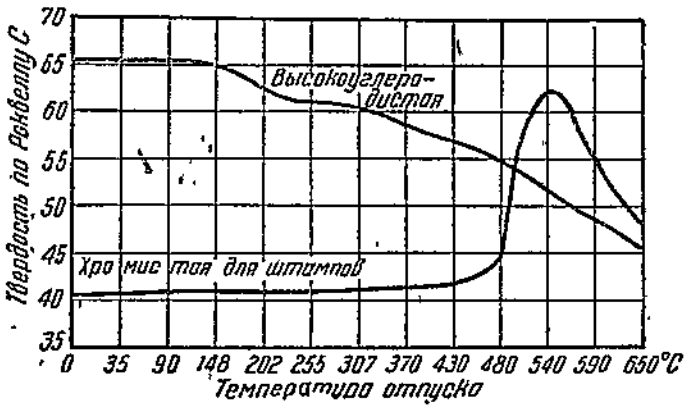
Марка стали	Химический состав, %									Твердость H_b		Временное сопротивление σ_B, кг/мм²
	C	Si	Mn	Cr	W	V	Ni	P	S	отожженной	закаленной	
3ХВ8	0,35—0,45	0,33—0,35	0,2—0,4	2,2—2,7	7,5—9,0	0,2—0,5	0,16	0,03	0,03	207—255	477—495	Закален. до 165
4ХНВ	0,35—0,45	0,35	0,3—0,6	1,2—1,5	0,5—1,0	—	3,8-4,5	0,03	0,03	229—285	400—420	» » 145

Таблица 52

Состав сталей, рекомендуемых фирмой «Гидравлик» для прессового инструмента вертикальных прессов

Наименование инструмента	Химический состав, %						Температура, °С		$\sigma_в$ кг/мм²
	C	Si	Mn	Cr	W	V	закалки в масле	отпуска	
Матрицы, иглодержатели, втулки контейнера	0,3	—	—	2,3	9,0	0,4	1100	670	150
Иглы	0,25—0,35	0,2—0,3	0,2—0,5	2,5—3,0	10,0—12,0	0,2—0,3	1100	600	170

удовлетворительной стороны. В табл. 51—55 приведены составы разных марок стали и условия обработки некоторых сталей, рекомендованных различными фирмами и литературными источниками.



Фиг. 225. Изменение твердости закаленной стали при различных температурах отпуска (хромистой для горячих штампов и высокоуглеродистой)

Состав указанных сталей наших заводов приведен в табл. 51.

Эти стали при очень высоких температурах довольно резко снижают свои механические свойства. Поэтому профессор Н. А. Минкевич [1] предложил сталь на хромомарганцовистой основе следующего состава: 0,37—0,45% C; 1,4—1,8% Si; 12—13% Mn; 14—15,5% Cr; 2—2,5% W, которая, по его исследованиям, сохраняет высокие механические качества при нагреве даже до 900—950°, и для температур до 850—900° сталь следующего состава: 0,37—0,45% C; 1,4—1,8% Si; 12—13% Mn; 14,5—15,5% Cr; 2,5—3,0% Mo.

Для температур не свыше 800° он рекомендует 9%-ную хромистую сталь состава в двух вариантах:

	C	Si	Mn	Cr	W	Mo
			в процентах			
1)	0,4—0,5	1,2—1,6	0,3—0,8	8,7—10,0	3,4	—
2)	0,4—0,5	1,2—1,6	0,3—0,8	8,7—10,0	—	1,5—2,25

Фирмы Шлеман и «Гидравлик» для изготовления прессового инструмента рекомендуют применять стали состава, указанного в табл. 52 и 53. Примерно такой же состав указывает и Г. Зак [2].

Таблица 53

Состав сталей, рекомендуемых фирмой Шлеман для прессового инструмента

Наименование инструмента	Химический состав, %						
	C	Si	Mn	Cr	W	V	Ni
Матрицы	0,22—0,34	0,2—0,3	0,25	2,0—2,5	8,0—9,0	0,3—0,5	—
Иглы	0,3—0,38	—	—	—	2,8—3,5	—	—
Пуансоны	0,5	0,2	0,7	—	—	—	4,0

[1] Проф. докт. Н. А. Минкевич и доц. А. М. Борздыка, Изыскание высокотеплоустойчивых сталей, «Металлург», № 1, 1939, стр. 77.

[2] Г. Зак. Практическое металловедение, ч. II, 1938, стр. 178, табл. 2.

В США для этих целей применяются стали состава, указанного в табл. 54[1 и 2].

Таблица 54

Состав сталей, применяемых в США для прессового инструмента

Наименование инструмента	Химический состав, %						
	C	Si	Mn	Cr	W	V	Mo
Матрицы, втулки контейнера . .	0,4—0,5	0,075	—	3,50	15,0	0,5	—
Прессшайбы . .	0,3	0,90	0,30	4,75	4,75	—	1,0

Форма и размеры основного инструмента горизонтальных прессов

а) Матрицы. Как уже говорилось в главе I в отношении расхода энергии, оптимальным углом вводного конуса матрицы (см. фиг. 120) является угол $\alpha = 30—50°$, что дает дополнительный до 90° угол β (величина которого наиболее часто и применяется при проектировании матриц), равный 60—40°. С другой стороны, с точки зрения получения доброкачественного изделия такая величина угла β недопустима, ибо при таком входе в матрицу легко попадает окисленная в печи верхняя рубашка слитка и портит наружную поверхность прессуемого изделия. Поэтому на практике угол β берут не более 30°, обычно он равен 25°.

Такого вида (конические) матрицы обычно и применяют для прессования всех металлов, кроме алюминия и алюминиевых сплавов. В последнем случае, как указывает Бернгефт, лучше применять матрицы с радиальным очком, вследствие того, что они, хотя и требуют на 25% большего расхода энергии, но не дают налипания материала.

Следует указать, что чисто конических матриц также не бывает, так как всегда большим или меньшим радиусом (от 2 до 8 мм) делается закругление при переходе от конуса к цилиндрической части. При очень тягучих и труднопрессуемых металлах, как медь, латунь Л-70, медноникелевые сплавы, монель-металл, морская латунь, дуралюмин и пр., очко со стороны рабочего конуса закругляется радиусом от 2 до 15 мм, а именно:

для меди и латуни Л-65 . . . . . 2— 5 мм
для медноникелевых сплавов и латуни Л-70 . . . 4— 8 »
для морской латуни, монель-металла . . . . . 10—15 »

Ширина цилиндрической части (поясок) делается равной от 5 до 8 мм, для тяжело прессуемых металлов у матриц больших размеров она доходит до 23—25 мм.

С выходной стороны всегда делают коническую распушку—уширение для свободного выхода прессуемого изделия.

На фиг. 226,*а* изображен эскиз матрицы горизонтального пресса с одним отверстием для прессования прутков и труб. На фиг. 226, *b*

[1] В. В. Жолобов и Г. А. Смолянов, Обработка цветных металлов в США, «Цветные металлы», № 11—12, 1941, стр. 63—66.

[2] См. также табл. 56, 57 и 58 во 2-м издании книги «Прессование металлов» П. С. Истомина.

Стали, рекомендуемые различными источни

№ по пор.	Наименование штампов	Химический состав, %					
		C	W	Cr	Ni	V	Mn
1	Штампы для горячей работы в тяжелых условиях[1]	0,30—0,45	9,0—11,0	3,25—3,50	—	0,30—0,60	0,25—0,35
2	Штампы для спокойной горячей прессовки . . .	0,85—1,05	—	3,0—4,50	—	Возможн.	0,15—0,35
3	Игла	0,25	8,0—10,0	3,0	Иногда 1	—	—
4	Матрица	0,25	8,0—10,0	3,0	» 1	—	—
5	Пуансон[2]	0,3	—	1,5	4,0	—	—
6	Прессшайба . . .	Хромоникелевая нормальная					
7	Втулка контейнера	Хромоникелевая нормальная сталь.					
8	Штампы для горячих работ[3] . .	0,53—0,58	—	Si 0,20—0,30	—	—	0,25—0,45
9	То же	8,80—0,85	—	Si 0,20—0,30	—	—	0,25—0,45
10	Пуансоны, матрицы (хромоникелевые)	0,42—0,55	—	1,4—1,6	3,1—3,4	0,15—0,30	0,25—0,40
11	Иглы, матрицы (хромоникелевые, вольфрамистые)	0,37 и более	0,8—1,0	1,2—1,4	4,0—4,5	—	0,25—0,40

[1] Для п. п. 1, 2, 3 и 4. Сталь по данным американского общества для термической обработки стали (ASST), проф. Н. А. Минкевич, Свойства, тепловая обработка и назначение стали и чугуна, ч. III, стр. 1222—1223.

и с даны эскизы матрицы в три и четыре очка. Как показывает фиг. 226,*b* и *c*, вводные конусы у матриц этого последнего типа (т. е. при нескольких очках) не применяются; очко в этом случае со стороны входа делают чисто цилиндрическим, оно имеет на выходной стороне необходимую распушку. На эскизах показана необходимая точность обработки.

б) Иглы. Обычно применяемая нашими заводами на горизонтельных прессах форма игл для прошивки слитков показана на фиг. 227. Игла работает в крайне неблагоприятных условиях, подвергается при прошивке громадным продольно сжимающим, а при прессовании трубы поперечно сжимающим и продольно вытягивающим напряжениям.

В результате получается огромный износ игл (фиг. 228); кроме того, они портятся (появляются продольные и поперечные трещины) при закалке, охлаждении, а также во время эксплоатации (на фиг. 229 хорошо видна продольная трещина иглы).

Стойкость игл, работающих в тяжелых условиях, а в особенности при малых диаметрах (о стойкости будет сказано далее), сравнительно

ками для прессового инструмента

Таблица 55

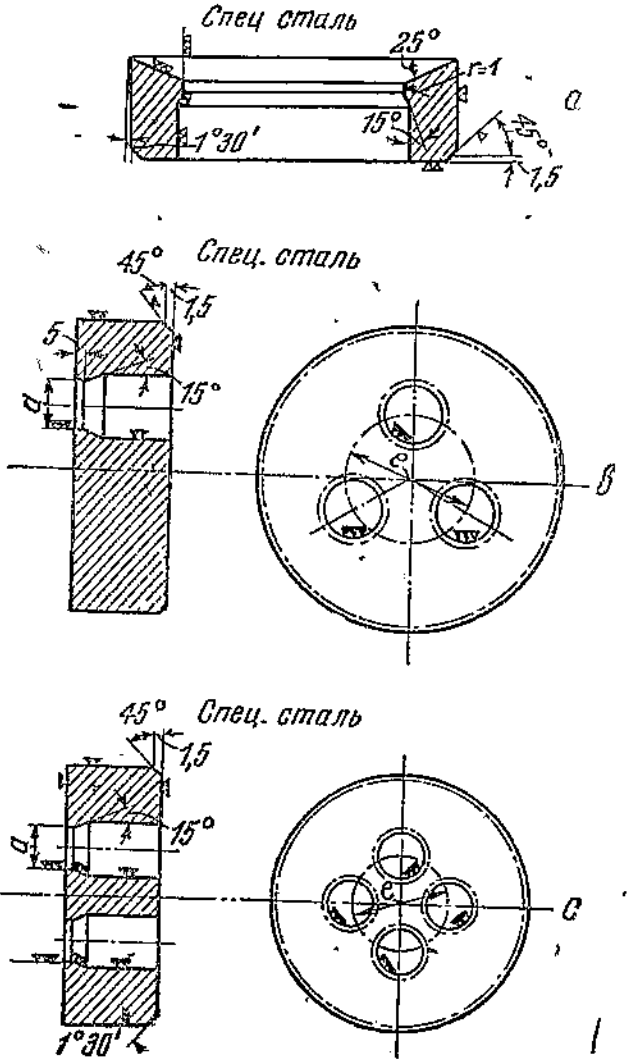
Температура обработки, °С				Закалочная среда
ковка	отжиг	закалка	отпуск	
—	870–900 H_{sc}<35	1040—1205	705 1 час	Воздух или масло
—	790–815 H_{sc}<85	815—925	≤ 400 или 430—540	Воздух или масло
—	—	—	—	—
—	—	—	—	—
—	—	—	—	—
или (по пп. 4 и 5) хромовольфрамовая сталь				
В работе может нагреваться до 700°				
1050—800	730—780	780—800	400—420	Вода или масло
1050—800	720—750	770–790; 840–860	—	Вода или масло
1050—850	710—730	820—840	550—580	Масло
1050—850	620–640	850—870; 820	550	Воздух или масло

[2] Для п. п. 5, 6 и 7. Сталь по данным немецкой практики, там же, стр. 1231.
[3] Для п. п. 8, 9, 10 и 11. Там же, стр. 1236—1237.

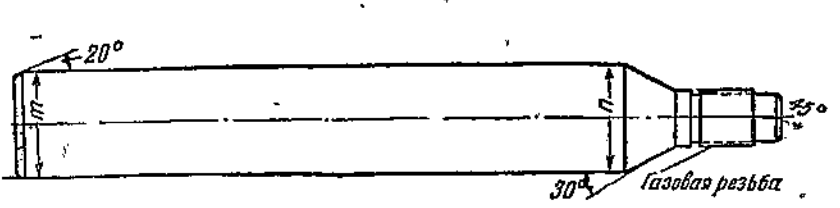
мала. Отсюда понятны различные попытки увеличить какими-либо способами срок их службы.

Одним из таких способов является применение на наших и заграничных заводах игл немного конических (см. фиг. 227, размеры m и n, причем $n>m$ на 1 мм), а равно и применение пуансонов и игл меньших диаметров, причем на конце их насаживают особые головки большего, чем у пуансона и игл, диаметра — своего рода прессшайбы. На фиг. 230 изображена такая схема.

На этих фигурах видим, что особенность иглы данной конструкции заключается в том, что при прошивке работает головка, имеющая значительно больший рабочий размер против диаметра иглы. При прессовании игла, имеющая меньший диаметр, но равный внутреннему диаметру нужной нам трубы, подвергается благодаря этому меньшим вытягивающим напряжениям и меньше изнашивается. Такая конструкция позволяет также сохранить на игле смазку до процесса прессования, что является весьма благоприятным фактором для увеличения срока службы иглы. К сожалению, эта идея пока нашими заводами не использована.



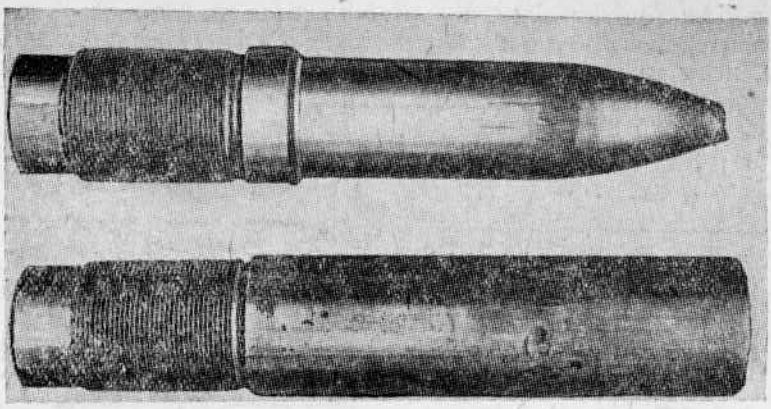
Фиг. 226. Матрица горизонтального пресса:
а — в одно очко; *b* — в три очка; *с* — в четыре очка



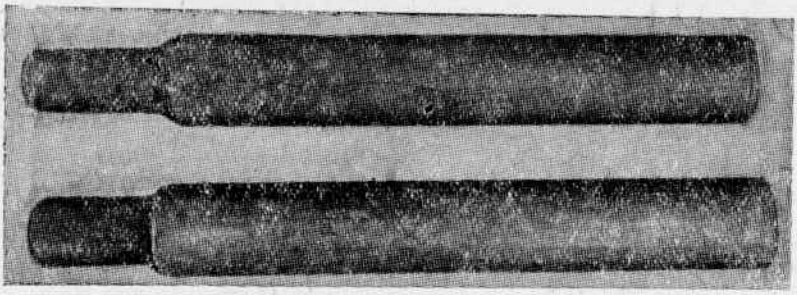
Фиг. 227. Игла горизонтального пресса для прошивки слитков без специальных прессшайб на игле

Форма и размеры основного инструмента вертикальных прессов

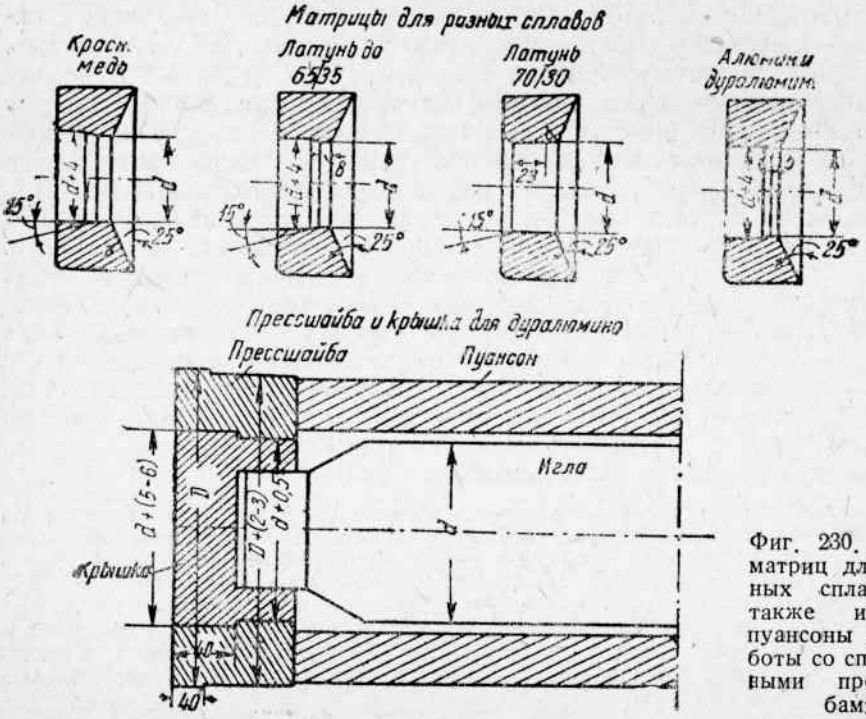
Рабочий инструмент вертикальных прессов, имеющих самостоятельный от пуансона ход иглы, подобен описанному выше для горизонтальных прессов, отличаясь от него лишь размерами и теми особенностями, которые создаются вследствие вертикального его



Фиг. 228. Игла вертикального пресса «Гидравлик» (виден их нормальный износ)

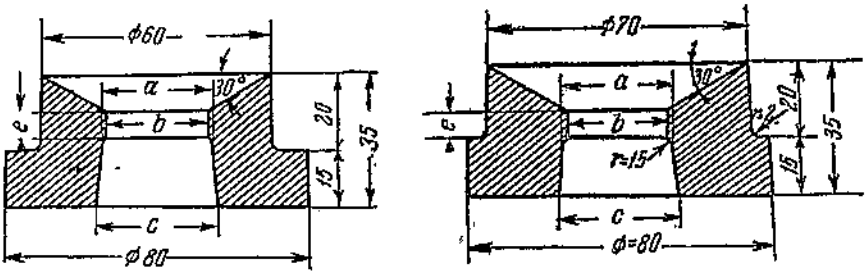


Фиг. 229. Иглы 2500-т горизонтального пресса с трещинами от неправильной термической обработки при изготовлении



Фиг. 230. Схема матриц для разных сплавов, а также иглы и пуансоны для работы со специальными прессшайбами

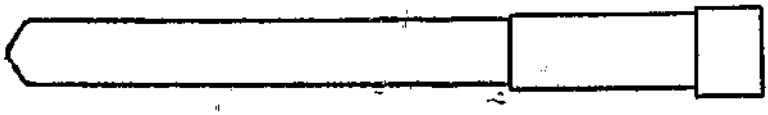
движения. Инструмент вертикальных прессов без отдельного хода иглы значительно проще и малочисленнее и состоит собственно из матрицы, иглы, иглодержателя и втулки контейнера. Для ознакомления с формой и размерами этого инструмента на фиг. 231 изображены эскизы матриц 300-т пресса для контейнера диаметром 60 и 70 мм.



Фиг. 231. Матрица вертикального пресса «Гидравлик» для контейнера диаметром 60 и 70 мм

На фиг. 232 изображена игла для такого типа вертикальных прессов.

Для центровки обрабатываемой на этих прессах заготовки иногда вместо специальных центровальных сверлильных станков применяют



Фиг. 232. Игла вертикального пресса «Гидравлик»

особый инструмент, показанный на фиг. 158 для двух размеров контейнера 300-т пресса; на фиг. 158,*а*—для диаметра 70 и на фиг. 158,*b*—для диаметра 60 мм. Этот инструмент состоит из следующих частей: **1** — центр, **2** — шуруп, укрепляющий центр в корпусе инструмента, **3** — корпус инструмента (оправка), **4** — рукоятка. В корпусе 3 имеется сбоку вырез, хорошо видимый на фиг. 158,*а* и на разрезе по *А—В*. При помощи этого выреза инструмент удобно подводится под заплечик поднятого вверх пуансона (игла попадает в середину корпуса 3). Холостым ходом главного плунжера под низким давлением воды из виндкесселя пуансон идет вниз и центром **1** производит нужную центровку слитка, как показано на фиг. 158, *а*. После этого пуансон поднимается вверх, инструмент удаляется, главному плунжеру дается вновь ход вниз и производится, как и обычно, прошивка заготовки и прессование трубы. На прессах типа фиг. 150—151, имеющих неподвижный контейнер, приходится, кроме прессования, делать второй ход для удаления остатка из контейнера, что снижает производительность пресса; еще один лишний ход для центровки снижает производительность еще более. Поэтому описанный инструмент при работе применяют редко.

Так как контейнер у вертикальных прессов, не имеющих независимого хода иглы, неподвижен, то для удаления из него остатка заготовки приходится применять особый инструмент, вроде изображенного на фиг. 158; только вместо центра 1 внизу его вставляется специальный прорезной пуансон (см. фиг. 159). В нем размер *а* незначительно (0,5 мм) меньше диаметра матрицы. Поэтому при движении пуансона вниз частью *а* прорезается насквозь остаток заготовки в контейнере, труба отделяется и удаляется через матрицу вниз. Остаток же заготовки вместе с этим пуансоном вытаскивается наверх, где его легко сбивают молотком.

Размеры прорезных пуансонов принимаются следующие:

a наружный диаметр трубы — 0,5 мм
$b = a - (2{,}5 \div 3)$ мм
$c = a - (1 \div 1{,}5)$ мм
$d = b$
$f = 14 \div 22$ мм
$n = 12 \div 15$ мм

Не излагая здесь метода изготовления инструмента, т. е. его отковки, механической и термической обработки и применяемого для этого оборудования, составляющих предмет специальных самостоятельных дисциплин (резание, термическая обработка и пр.), а равно размеров инструмента, считаем все же необходимым привести краткие данные о температуре отковки, отжига и закалки, даваемое литературными источниками[1], заграничными заводами, а также практикой наших заводов (см. табл. 51, 53 и 55).

Наконец, считаем необходимым дать читателю понятие о точности изготовления прессового инструмента. Ниже приведены некоторые данные, прекрасно оправдывающиеся на практике.

Технические условия на изготовление и допуски на прессовый инструмент для труб

а) Вертикальные пресса

1. Матрицы: а) допуски по рабочему диаметру при d=20—30 мм — 0,1 мм, при d = 31—60 мм — 0,1 мм; б) допуски по наружному диаметру: класс 3-й точности по ОСТ; скользящая посадка (C_3); в) обработка пояска—шлифование, обработка раструба наждачным кругом по шаблону; г) эксцентриситет матрицы: не более 0,3% рабочего диаметра.

2. Иглы: а) допуски по рабочей части: при d=18—27 мм + +0,10 мм, при d=27—50 мм+0,15 мм; б) шлифование рабочей части наждаком; в) конусность иглы + 0,4 мм; г) остальные размеры: 3-й класс точности; скользящая посадка по ОСТ; д) изогнутость иглы не более 0,3% от рабочего диаметра.

3. Иглодержатели: а) допуски по наружному диаметру: при d = 59,7 мм ± 0,1 мм; d = 69,7 мм ± 0,1 мм; d = 84,6 мм ± 0,1 мм; d = 99,6 мм ± 0,1 мм; б) все остальные размеры: 3-й класс точности по ОСТ; в) эксцентриситет не более 0,1% от диаметра иглы.

4. Матрицедержатели и пуансоны: а) допуски по 3-му классу точности по ОСТ; б) изогнутость не более 0,1% от рабочего диаметра.

б) Горизонтальные пресса

1. Матрицы: а) допуски по рабочему диаметру при d = 50 — 100 мм—0,1 мм, при d = 101 мм и свыше—0,2 мм; б) шлифование так же, как и для вертикальных прессов; в) остальные размеры: 3-й класс точности по ОСТ; г) наружный диаметр по шаблону; д) эксцентриситет: не более 0,3% от рабочего диаметра.

2. Иглы: а) допуски по рабочей части: при d = 40—100 мм + + 0,1 мм, при d = 101 и свыше + 0,2 мм; б) шлифование кругом всей рабочей части; в) конусность иглы + 0,80 мм; г) остальные размеры: допуск—0,15 мм; д) изогнутость иглы не более 0,3% от рабочего диаметра; е) резьба по калибру.

3. Матрицедержатели: по чертежам и шаблонам.

4. Прессшайбы: а) допуски по наружному диаметру ± 0,3 мм; допуски по внутреннему диаметру: при d = 40—100 мм + 0,2 мм; при d = 101 мм и свыше + 0,3 мм; по толщине ± 0,1 мм; б) шлифование внутри.

Примечание. Инструмент для прессования прутков изготовляют с точностью по договоренности в зависимости от технических условий заказчика.

[1] Большое число данных по этим вопросам читатель может найти в книге П. С. Истомина, Прессование металлов, 1935.

Стойкость инструмента и меры для удлинения срока его службы

Стойкость инструмента. Стойкость инструмента, даже изготовленного из высококачественных огнеупорных сталей, подвергающегося громадным напряжениям при высоких температурах, а в особенности матриц и игл, сравнительно невелика. В особо тяжелых условиях работают иглы небольших диаметров. Прочность игл при продольном изгибе при прошивке с уменьшением диаметра падает пропорционально четвертой степени диаметра, а при прессовании трубы — пропорционально квадрату диаметра. Отсюда понятно, почему возможно, но совершенно нерентабельно прессование указываемых в проспектах различных иностранных фирм тонкостенных малого диаметра труб размерами:

12 × 10 мм	на 300-т	вертикальном	прессе
16 × 14 »	» 600-т	»	»
21 × 19 »	» 1000-т	горизонтальном	прессе
24 × 22 »	» 1500-т	»	»
36 × 34 »	» 2000-т	»	»
48 × 46 »	» 2500-т	»	» и т. п.

Иглы в зависимости от ухода за ними (надлежащее охлаждение, смазка, хорошая настройка, запрессовка слитка в контейнере перед прошивкой и пр.) выдерживают в среднем при прессовании труб из легкопрессуемых сплавов около 400—600 прессований на горизонтальных и около 500—800 на вертикальных прессах.

Более подробные данные о стойкости игл и прочего инструмента, изготовленного из соответствующей стали, в зависимости от их диаметра и при надлежащем за ними уходе, приведены в табл. 56 для горизонтального 2500-т пресса.

Таблица 56

Стойкость игл различного диаметра при прессовании различных сплавов труб разного диаметра для горизонтального 2500-т пресса

(число прессований)

Сплав	Диаметр иглы, мм												
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
Латунь Л-70	200	300	400	450	450	450	450	550	600	600	650	700	800
» ЛМ-70	150	200	200	300	300	300	350	400	400	400	400	450	500
Медь	200	300	400	450	450	450	450	550	600	600	650	700	800
Дуралюмин	400	500	1000	1000	1200	1200	1200	1800	2000	2000	2000	2500	2500

Примечания. 1. Для матриц и прессшайб нормы принимаются: для дуралюмина те же цифры, что и для игл; для латуни при одновременном применении шести—восьми прессшайб (одна работает, а остальные попеременно охлаждаются) на 50% больше, чем для игл; для меди при одновременном применении шести—восьми прессшайб—как для игл.

2. Приведенные в табл. 56 цифры указывают нормальное число прессований, выдерживаемое иглой.

В табл. 57 приведены составленные по данным практики с нашими сталями нормы расхода инструмента для прессов различной системы и силы давления при прессовании труб различных размеров. Действительная стойкость инструмента обычно выше этих норм на 10—15%, а иногда при благоприятных обстоятельствах его изготовления и работы в прессе — и значительно больше.

Таблица 57

Средние нормы расхода инструмента при прессовании по данным наших заводов

№ по пор.	Пресс		Инструмент		Число прессований	Производительность кг	Примечание
	тип	давление т	наименование	размеры мм	на один инструмент		
1	Вертикальный	300	Иглы	20	300	750	Нормы расхода инструмента для № 1–39 указаны при прессовании латуни Л-63 и меди
2			»	22	400	1 000	
3			»	26	800	2 000	
4			Матрица	23	200	500	
5			»	26	400	1 000	
6			»	30	800	2 000	
7			Пуансон	59	8 000	20 000	
8			»	69	12 000	30 000	
9			Иглодержатель	21×59,6	1 000	2 500	
10				23×69,6	2 000	5 000	
11			»	27×69,6	4 000	10 000	
12		600	Иглы	26	400	1 200	
13			»	30	600	1 800	
14			»	40	1 000	5 000	
15			»	45	1 000	5 000	
16			»	48	1 000	5 000	
17			Матрица	30	400	1 200	
18			»	35	600	1 800	
19			»	46	1 000	5 000	
20			»	50	1 000	5 000	
21			»	53	1 000	5 000	
22			Пуансон	85	20 000	60 000	
23			»	100	30 000	90 000	
24			Иглодержатель	27×84,6	2 000	6 000	
25				31×84,6	3 000	3 000	
26			»	41×99,6	5 000	15 000	
27			»	46×99,6	5 000	15 000	
28			»	49×99,6	5 000	15 000	
29	Горизонтальный	1000–1500	Иглы	40	200	8 000	
30			»	50	400	16 000	
31			»	60	400	16 000	
32			»	70	400	16 000	
33			»	80	400	16 000	
34			Матрица	46	200	8 000	
35			»	56	400	16 000	
36			»	66	400	16 000	
37			»	76	400	16 000	
38			»	86	400	16 000	
39			Прессшайба	до 80	1 000	40 000	
40		2500–3000	Иглы	40	200	12 000	Нормы расхода инструмента для № 40–49 указаны при прессовании всех сплавов, кроме дуралюмина
41			»	50	400	24 000	
42			»	60	400	24 000	
43			»	70	600	36 000	
44			»	80	600	36 000	
45			»	90	600	36 000	
46			»	100	600	36 000	
47			Матрица	46—66	200	12 000	
48			»	66—100	600	36 000	
49			Прессшайба	до 100	—	50 000	
50			Иглы	70	600	1 200	Нормы расхода инструмента для № 50–54 даны для дуралюмина
51			»	80	600	1 200	
52			»	90	600	1 200	
53			»	100	600	1 200	
54			Прессшайба	до 100	—	10 000	

При работе легко прессующихся сплавов были случаи, когда контейнер выдерживал 30 000 и матрица 3000 прессований.

В среднем при расчете на один инструмент можно принимать следующее число выпрессованных труб в тоннах (табл. 58).

Таблица 58

Пресс т	Игла т	Матрица т	Пуансон т	Иглодержатель т	Прессшайба т	Замок т
3000—2500	185	68	1350	1800	100	—
1500—1000	25	11,6	200	3450	70	—
600—300	2,6	2,6	200	14	—	1,5
Сталь	3ХВ8	3ХВ8	4ХНВ	4ХНВ	3ХВ8	4ХНВ

Для расчета стоимости инструмента может быть принят средний вес 1 шт., указанный в табл. 59.

Таблица 59

Средний вес 1 шт. прессового инструмента, кг

№ по пор.	Пресс	Игла	Иглодержатель	Матрица	Матрицедержатель	Пуансон	Прессшайба	Втулка-контейнер
1	3000	60	132	3,4—14,2	105—204	435—620	20—58	488—1055
2	1500	25	65	3		300	20	
3	1000	15	50	3		150	10	
4	600	2	8	1,5		15	—	
5	300	1,5	6	1,2		10	—	

Меры к удлинению срока службы инструмента

Выбор надлежащей стали, отвечающей условиям работы инструмента, ее правильная обработка при ковке, отжиге и закалке, а равно внимательный уход за инструментом при прессовании, являются основными факторами, удлиняющими срок службы инструмента во время работы.

Иглы, матрицы и прессшайбы надо надлежащим образом охлаждать, а для игл и контейнера применять соответствующую смазку и т. д. Все это должно быть изложено в инструкции для каждого агрегата. Инструкция должна точно выполняться.

Охлаждение игл на вертикальных прессах осуществляют, погружая поднятую вверх иглу в стакан с холодным маслом после каждого прессования. Масло набирают стаканом из особого бачка, в котором по змеевику циркулирует вода, охлаждающая масло. Продолжительность охлаждения иглы устанавливается опытом, записывается в инструкцию и подлежит обязательному выполнению. Эта продолжительность для 300-т пресса составляет 15—20 сек., для 600-т от 25 до 30 сек.

У горизонтальных прессов такое удобное охлаждение иглы осуществить невозможно. Иглы здесь охлаждаются водой при помощи кольцевой брызгалки или их смазывают холодным маслом. После каждого прессования приходится выжидать их охлаждения. Охлаж-

дение холодной водой вызывает трещины и быстро выводит иглы из строя. Конечно, было бы совершенно рационально иглы, нагревающиеся во время прессования латуни и меди до 400—600°, охлаждать до 300° горячей водой, но это потребовало бы много времени и снижало бы производительность пресса. Поэтому на практике применяют охлаждение холодной водой и холодным маслом.

Прессшайбу после каждого прессования охлаждают, опуская ее в бак с водой. Обычно работают с комплектом из нескольких прессшайб одного размера, применяемых в работе попеременно. В прессах с подачей слитка спереди после каждого прессования матрицы также иногда охлаждаются в баке с водой. Большей частью матрицы охлаждаются естественно во время пауз.

На охлаждение игл в среднем принимают на одно прессование:

для пресса 3000—2000 т	. . . . .	0,0794 м³ воды
» » 1500—1000 т	. . . . .	0,0441 » »

Кроме того, на другие нужды, связанные с охлаждением, принимают в 1 час работы:

для пресса 3000—2000 т	. . . . .	0,024 м³ воды
» » 1500—1000 т	. . . . .	0,023 » »
» » 600— 300 т	. . . . .	0,032 » »

На удлинение срока службы инструмента, в особенности игл и втулки контейнера, на качество получаемой продукции (отсутствие задирин, налипания и пр.) и на расход энергии оказывает большое влияние также надлежащая смазка инструмента. Для смазочной смеси следует применять наилучший графит, помня, что этот незначительный расход сторицей окупится сбережением инструмента и увеличением выпуска доброкачественной продукции.

Состав смазки для различных сплавов различен, но главными составными частями ее всегда являются графит и машинное масло. Смазки еще не настолько изучены, чтобы их составляли на основе определенных расчетов. Состав их в значительной степени зависит от привычки, от имеющихся под рукой материалов и пр., т. е. устанавливается на основе опыта. Хорошие результаты при прессовании латунных сплавов и меди получаются при применении смазки следующего состава: масла машинного 22,5 л, графита лучших сортов 1,8 кг, керосина 3 л, канифоли 2,7 кг. При прессовании алюминия и его сплавов, а также электрона хорошо ведет себя густо растворенная смесь графита с канифолью и машинным маслом (прибавленный керосин никакой пользы не приносит).

10. РАБОТА У ПРЕССА

Работа у пресса с большим давлением (200—300 кг/см²) представляет большую и ответственную задачу. Ее должны проводить только хорошо подготовленные и надлежащим образом проинструктированные рабочие. Эти рабочие должны работать с большим вниманием, аккуратностью, помнить, что им вручается дорогое и сложное оборудование, что при невнимательном отношении возможны несчастные случаи, поломки инструмента и даже пресса, брак изделий и т. п. Поэтому на подготовку персонала для работы на прессах и на инструктирование его должно быть обращено самое серьезное внимание. У каждого агрегата должны быть вывешены инструкции, как пустить пресс, как работать, как его остановить, как осматривать и т. п. [1].

1 Примеры таких инструкций см. П. С. Истомин, Прессование металлов, 1935, стр. 351—356.

11. БРАК И ОТХОДЫ ПРИ ПРЕССОВАНИИ И МЕРЫ К ИХ УМЕНЬШЕНИЮ

Брак при прессовании может происходить по следующим причинам: 1) по вине литейного цеха; 2) по вине прессового цеха. Каждый из этих родов брака бывает следующих видов.

Брак литейный

1. Пузыри, вздутия после отжига; причина — пузыристое литье.
2. Прорыв газа при прессовании; причина — слишком глубокая усадочная раковина или несвоевременная, поздняя доливка слитка, произведенная после образования усадочной раковины, вследствие чего воздух при прессовании был закупорен в раковине.
3. Пористость в середине прутка и расслоение (если прессование закончено с нормальным остатком в контейнере, то причина этого брака та же, что в п. 2, а иногда и в п. 1).
4. Трещины по шлаковым включениям; причина — небрежная работа в отливном цехе: непринятие необходимых мер к предупреждению попадания шлака из ковша, печи или тигля в изложницу.
5. Плены на поверхности слитка; причины — небрежное литье с разбрызгиванием металла на стенки, плохая смазка изложниц.

По уничтожению или уменьшению этих видов брака должны быть предъявлены требования к литейному цеху. Недопущение указанных, а также и разного рода других поверхностных пороков на слитках должно быть подробно оговорено в технических условиях приемки. Во время производства необходимо строго следить за тем, чтобы слитки отвечали поставленным техническим условиям.

Брак прессового цеха

а) Брак вследствие неправильного нагрева слитка. 1. Иногда прессуемое изделие при выходе из матрицы разваливается на куски, дает трещины во всех направлениях или V-образные трещины по поверхности или по углам квадратов и других подобных сечений прутков, поперечные трещины, чешую по поверхности изделия, пузырьки на поверхности алюминия и дуралюмина и пр. Причиной этих видов брака является пережог в печи и перегрев металла в большей или меньшей степени. Для предупреждения этого вида брака необходимо оборудовать печи надлежащим числом пирометров, периодически проверять правильность их работы и своевременно ремонтировать; исправлять конструкцию печей и заменять их более совершенными агрегатами (электрические печи с автоматической и точной до ± 5° регулировкой температуры); подбирать квалифицированные кадры на печах; проводить техминимум; ознакомлять персонал с работой печей и свойствами обрабатываемых металлов и сплавов; организовать серьезное наблюдение за их работой.

2. Сильное окисление поверхности нагреваемых слитков из металлов и сплавов влечет за собой появление задирин, трещин. Необходимо, если возможно, удалить окисленный слой и во всяком случае не допустить его попадания в прессуемое изделие, исследовать причину этого и принять меры к получению нормального нагрева слитка.

3. Нагрев медных слитков в восстановительном пламени влечет за собой «водородную болезнь», в результате которой при прессовании также будут трещины и даже развал прессуемого изделия. Необходимы меры, которые указаны в пп. 1 и 2.

4. Недостаточная температура нагрева латунного слитка, находящегося при такой температуре в $(\alpha+\beta)$- и β-фазах, и окончание

прессования ниже линии фазового превращения влекут за собой получение недоброкачественного изделия.

5. При прессовании пруток получается не прямой, а извилистый, свернутый в виде винта, или нецилиндрический; часто на прутке при этом наблюдаются поперечные складки; причина — неровный, односторонний нагрев слитка. Необходимы те же меры, что и указанные в пп. 1 и 2 этого раздела.

б) Брак прессового цеха. 1. Напрессовка, плены, задиры, появление как бы постороннего наружного покрытия — рубашки, надрывы являются часто следствием того, что инструмент не был хорошо очищен от остатков металла после предыдущего прессования, и этот остаток, налипнув на прессуемое изделие, дает брак. Необходимо тщательно следить за чистотой инструмента, надлежащим его охлаждением и смазкой при работе. Особенно часто это явление наблюдается при прессовании алюминия и его сплавов, обладающих большой способностью налипать на инструмент.

2. Плохо отрегулированный (настроенный) инструмент при прессовании труб влечет за собой их разностенность, иногда даже прорывы образовавшейся с одной стороны очень тонкой стенки, складывание тонких мест в виде гофра и т. п. Необходимо немедленно остановить работу и отрегулировать (настроить) инструмент.

3. Применение коротких игл при прессовании вызывает образование в передней части выпрессовываемой трубы глухой пробки, которую нужно отрезать на пиле или на ножницах.

4. Большая скорость прессования дает отставание наружной прилегающей к матрице и охлаждаемой ею поверхности прутка от более горячей и потому более текучей середины; в результате на поверхности прутка получается волнистость, иногда надрывы, или сквозные разрывы. Иногда при слишком больших скоростях истечения и высоком нагреве через такие разрывы выдавливается при выходе из матрицы внутренняя сильно нагретая часть металла и получается подобие ветвистого дерева. Необходимо работать со слитками определенного нагрева и соответственно ему и качествам металла или сплава вести прессование с оптимальными для него скоростями.

5. Прессование слитков с грязной, засоренной поверхностью может повлечь за собой появление на поверхности прессуемого изделия грязи, окалины, царапин, надрывов и шероховатости.

6. Обильная смазка контейнера не соответствующим данному сплаву составом, дающим много газов, может вызвать появление на поверхности изделия мелких пузырьков; в особенности часто это бывает при прессовании алюминия и его сплавов.

7. При работе на вертикальных прессах без независимого от пуансона хода иглы часто получаются плены вследствие неровной, с зауселцами отрезки заготовки на пилах. Если такая заготовка была положена в контейнер этими заусенцами к матрице, то по всей трубе может получиться тонкая плена, и изделие идет в брак. Необходимо следить за тем, чтобы заготовка была тщательно нарезана.

8. Неправильная центровка заготовки для указанного типа вертикальных прессов или малый ее диаметр, не отвечающий стандарту, влекут за собой выход разностенной трубы, ее брак и порчу иглы.

9. При плохом состоянии иглы и матрицы на поверхности прутков и труб получаются задиры, царапины или «риски» в зависимости от степени повреждения инструмента. Поэтому при прессовании необходимо внимательно следить за качеством получаемой поверхности. В случае появления царапин нужно тщательно перешлифовывать инструмент, соответствующим образом его охлаждать, хорошо смазывать и т. п. Для изготовления инструмента надо применять такую

сталь, чтобы при том высоком нагреве, которому инструмент подвергается (до 400—500°), он все же обладал достаточно высокой крепостью и сопротивляемостью истиранию, а самое изготовление и хранение изготовленного инструмента производить с надлежащей тщательностью.

Отходы

Отходы в прессовом цехе[1] бывают двух видов: 1) возвратимые, к которым относятся следующие: а) остаток в контейнере в виде толстого или тонкого диска с рубашкой; б) остаток, выпрессовываемый при прошивке слитка иглой; в) получаемая при обточке и разрезании слитков и их центровании стружка и 2) невозвратимые отходы, получающиеся при нагреве слитков в печах,— угар.

О необходимости оставлять при работе на горизонтальных прессах достаточных размеров прессостаток, а также о возможности его несколько снизить при работе с рубашкой говорилось выше.

При работе с рубашкой (ее толщина обычно бывает 2—3 мм) окисленная поверхностная зона слитка уходит в рубашку. Благодаря этому, несмотря на значительное количество металла в рубашке, остаток в контейнере удается снизить до 14—15%; в особенности это стало возможным при наличии во всех современных прессах подогрева контейнера. При работе без рубашки и при наличии высокого подогрева контейнера остаток слитка удается (без особого риска ухудшить качество получаемого прутка или трубы) прессовать значительно дальше и, таким образом, снизить процент отходов до 12—15 и даже до 10. При работе с медью, алюминием и другими металлами этот остаток можно иметь еще меньших размеров.

При работе на вертикальных быстроходных прессах слиток не успевает остынуть в контейнере, а потому благодаря небольшой длине слитков процесс прессования удается вести еще дальше и иметь остаток в контейнере всего в 3—5%, а при острой игле даже до 1,5%.

Остаток материала, выпрессовываемый при прошивке слитка, составляет при нормальной работе на горизонтальных прессах 5—8% и на вертикальных 2—3%, так что общее количество отходов при прессовании труб в настоящее время на горизонтальных прессах составляет 15—23%, а на вертикальных 5—8%, при прессовании же прутков на горизонтальных прессах — около 15%. Под нормальной работой прошивки на горизонтальных прессах понимаем такую, когда слиток перед прошивкой запрессовывается в контейнере, после чего пуансон отводится несколько назад, а игла, наоборот, идет вперед, и цилиндрический столбик материала слитка, по диаметру равный игле, а по длине — длине слитка, при прошивке не выдавливается через матрицу, а течет в большей своей части обратно по игле, и лишь небольшая его часть у самой матрицы прорывается в матрицу, составляя указанную выше величину в 5—8% от веса слитка. Если пуансон при ходе иглы вперед для прошивки обратно не отводить, то отход при прошивке, естественно, будет значительно больше и доходит при трубах большего диаметра до 32—35 и даже до 46%, так как выдавливаемому иглой материалу слитка остается единственная возможность выйти только через матрицу. В табл. 60 приведены нормальные величины прессостатка в контейнере.

Отходы в виде стружки получаются при обточке полых слитков дуралюмина или электрона перед прессованием их на горизонтальных прессах, а также при разрезке выпрессованных прутков всех сплавов на заготовку для вертикальных прессов, не имеющих неза-

[1] Мы не касаемся отходов литейного цеха при обрезке путцов и разрезании слитков на заготовки требуемой длины.

висимого хода иглы, и при центровании этой заготовки. Слитки дуралюмина и электрона на одних заводах обтачивают только изнутри, на других — и изнутри и снаружи. Количество отходов составляет соответственно около 5—7%, и в первом случае — около 3%. Эти количества могут быть легко подсчитаны в каждом отдельном случае.

Таблица 60

Величина прессостатка в зависимости от диаметра контейнера

Сплавы	Диаметр контейнера, мм									
	125	150	155	170	180	180	205	255	306	408
Медь, латунь Л-68, ЛМ-70, томпак, алюминий, дуралюмин, бронза Карро	—	—	20—25	20—25	25—30	25—30	30—35	30—35	35—40	35—40
Латунь Л-59, ЛС-59, Л-62, ЛМ-62, ЛЖМ, Куниаль .	20—25	25—30	30—35	30—35	30—35	35—40	35—40	40—45	40—45	45—50
БАЖМ, БАЖ . .	35—40	40—45	40—45	10—45	45—50	50—55	55—60	65—70	70—75	75—80
Толщина стенки рубашки . . .	1	1	1	1	1	1	1	1	1,5	2,0

Примечания. 1. Указанные величины прессостатка являются нормальными при прессовании на горизонтальных прессах.

2. При прессовании на вертикальных прессах 300 и 600 т в контейнере остается прессостаток, толщина которого обычно не превышает 1—1,5 мм.

3. При прессовании на горизонтальных прессах заготовки для вертикальных прессов по всем сплавам возможно прессостаток оставлять 30—35 мм при всех размерах контейнеров.

Угар металла при нагреве слитков в печах составляет сравнительно небольшую величину, примерно 0,4—0,5%.

12. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ ПРЕССОВЫХ ЦЕХОВ

Таблица 61

Средний выход годного по прессовому цеху

№ по пор.	Изделия	Выход годного %	№ по пор.	Изделия	Выход годного %
1	Трубы медные	77	20	Прутки БАЖ	84
2	» латунные Л-68 . . .	74	21	» ЛЖМ	88
3	» » ЛМ-70 . .	72	22	» алюминиевые . .	67
4	» » Л-62 . . .	75	23	» дуралюминовые .	88
5	» » Л-59 . . .	79	24	» Куниаль	80
6	» » ЛЖМ . .	80	25	» Карро	82
7	» » ЛТ-90 . .	50	26	» Л-62	81
8	» бронзовые БрАЖМц	76	27	» ЛМ-62	87
9	» » БАЖ . .	92	28	» Л-59	93
10	» » КВ . . .	78	29	» КВ	82
11	» » БрА . .	69	30	Полосы ЛС-59	88
12	» марганцовистой бронзы	45	31	» Л-59	83
13	» мельхиоровые . . .	72	32	» медные	86
14	» свинцовые	87	33	» алюминиевые . .	85

(Продолжение табл. 61)

№ по пор.	Изделия	Выход годного %	№ по пор.	Изделия	Выход годного %
15	Трубы алюминиевые . . .	70	34	Полосы ЛЖМ	71
16	» дуралюминовые .	78	35	» КВ	90
17	Прутки ЛС-59	86	36	» БрАЖМц	88
18	» марганцовистой бронзы	88	37	» марганцовистой бронзы	90
19	» БрАЖМц	87			

Примечание. Средний по цеху выход годного может быть принят около 80%.

Средние относительные показатели:

съем с 1 м² площади пода цеха	1,5—2,0 т
выработка на одного рабочего в год	45—50 т
установленная моторная мощность на одного рабочего	7—8 квт
расход электроэнергии на 1 т годного	355—400 квт-ч

13. СРАВНЕНИЕ ПРЕССОВАНИЯ С ДРУГИМИ МЕТОДАМИ ОБРАБОТКИ

Прессованием получают, как правило, не готовые изделия, а заготовку; раньше такая заготовка обычно подвергалась волочению — протяжке на волочильных барабанах, или на цепных станах, либо ковке и штамповке. Первый метод применяли к производству проволоки, прутков, профилей и труб, а второй — к производству разного рода поковок для авиастроения, автомобилестроения, общего машиностроения и т. п.

Последнее время в производстве труб метод волочения начали заменять методом холодной прокатки на специальных станах — методом весьма рентабельным, почему он в этом виде обработки стал получать все большее распространение.

Производство прутков, профилей и проволоки ведут, как и ранее, методом прессования с последующим волочением или прокаткой; в производстве кузнечной заготовки пресс также не потерял своего места, хотя может быть с успехом заменен прокатным станом.

Правда, недостатки прессового метода обработки — большие отходы на прессостатке и при прошивке (в особенности крупных труб), дороговизна прессовой установки с аккумуляторами, насосами и пр. являются весьма существенными препятствиями к распространению этого вида обработки, но, с другой стороны, легкость перехода [1] с од-

[1] Практика показывает, например, такую затрату времени на смену инструмента в прессах.

№ по пор.	Наименование инструмента	Пресса	
	I. Горизонтальные пресса	**3000-т**	**1500-т**
1	Смена контейнера и головки иглодержателя	2 часа	1,5 час.
2	Смена пуансона и иглодержателя .	40 мин.	30 мин.
3	» матрицы и иглы ∅ до 100 мм	10 »	10 »
4	» » » ∅ 100—160 мм	20 »	20 »
5	» » » ∅ > 160 мм	40 »	40 »
	2. Вертикальные пресса	**600-т**	**300-т**
6	Смена контейнера	20 мин.	20 мин.
7	» пуансона с иглой	15 »	15 »

ного вида изделий на другие (с профилей на трубы), с одних размеров на другие дает прессу громадное преимущество перед прокатным станом. Перестройка стана с одного вида изделий на другие крайне трудна и требует много времени, а иногда совершенно невозможна. Например, трубопрокатный стан может быть только трубопрокатным, и никакой другой работы он выполнять не может. Но зато трубопрокатный стан имеет значительно бо́льшую производительность и почти не имеет отходов, чем превосходит пресс. В производстве профилей прокатный стан может давать только простые профили и прутки и не может дать большинства сложных профилей, потребных для авиастроения (см. фиг. 1 и 2).

Поэтому в производстве заготовки для прутков, проволоки и некоторых профилей может применяться и прокатный стан и пресс. Здесь дело в числе однородных изделий. При малом сортаменте и большом числе изделий каждого сорта прокатный стан займет первое место, наоборот, при большом сортаменте и малом числе изделий каждого сорта, что обычно мы видим в цветной обрабатывающей промышленности, пресс не уступит своего места.

Прессовой метод благодаря тому, что пресс пригоден для производства труб, прутков, профилей и заготовки для проволоки, причем переход с одной продукции на другую, с одних размеров изделия на другие совершается быстро — простой сменой матрицы (при производстве труб и игл), — получил и у нас, и в Западной Европе на заводах по обработке цветных металлов и сплавов преимущественное распространение. Указанная возможность быстрой перестройки производства в области цветной промышленности при широком сортаменте и сравнительно небольшом тоннаже изделий по заказам имеет большое значение. Этим и объясняется распространение прессового метода получения заготовки для труб и в Европе и у нас, несмотря даже на наличие на наших заводах цветной металлообработки необходимых прокатных станов, так называемой «косой прокатки».

Между тем в США, вследствие высокой производительности прокатных установок, отсутствия большого количества отходов, присущих прессовому методу, и экономичности процесса прокатки, метод прокатки завоевал в производстве труб из цветных металлов и сплавов прочное положение.

Как можно судить по литературным[1] данным, этот метод получения трубной заготовки из цветных металлов начинает приобретать широкое применение и в Англии. Совершенно несомненно, что и у нас, в СССР, с дальнейшим развитием добычи и потребления цветных металлов назреет вопрос о больших масштабах производства труб и о применении для этого методов, наиболее рационально обеспечивающих необходимую производительность.

---

[1] G. Evans, Recent Progress in non-Ferrous Seamless Tubes Manufacture, Metallurgia, 1934, V. 9, № 52, p. 117—120; Developments and Future Trends of non-Ferrous Tube Trade, Metallurgia, 1933, V. 7, № 40, p. 111—113; Manufacture of non-Ferrous Seamless Tubes, Wire and Wire Products, 1934, № 9, p. 17—20 a. 25; Journ. Inst. of Metals, 1933, № 53, p. 718; Progress in Seamless Tube Manufacture, Metallurgia, 1936, V. 15, № 86; Some Factors which Influence the Production of Seamless Tubes, Metallurgia 1937, V. 15, № 87, p. 87—88; Further Improvements in Seamless Tube Manufacture, The Metal Industry (London), 1934, V. XLV, № 15, p. 339—341; Progressive Features in the Manufacture of non-Ferrous Seamless Tubes, The Met. Ind. (L), 1934, V. XLV, № 7, p. 147—149.

W. L. Govier, Non-Ferrous Metal Tubes, The Met. Ind. (L), 1936, V. XLIX, № 18, p. 431—436; № 19, p. 461—465; Metallurgia, 1936, V. 15, № 85, p. 23—24.

A. B. Graham, The Manufacture of Seamless Tubing, The Met. Ind. (L), 1936, 17 Jan., № 3, p. 81—86; Nickel Alloy Sections and Tubes, The Met. Ind. (L), 1937, V. LIX, № 3, 20 Jan., p. 101—104.

Распространившиеся за последние годы в области обработки и черных, и цветных металлов новые методы косой прокатки (Дишера, Форена и др.), позволяющие получать в горячем состоянии еще более тонкостенную, чем ранее (почти до толщины стенки готовой трубы) заготовку, а равно замена трудоемкой и дорогостоящей чистовой обработки полученной заготовки эффективным методом прокатки ее в холодном состоянии (станы Рокрайт [1], Краузе и др.), заставляют нас еще более обратить внимание на метод производства труб прокаткой в горячем состоянии слитка на заготовку, и в холодном — прокаткой полученной гильзы на готовую трубу.

Работы [2] Центрального научно-исследовательского института Главцветметобработки, поставленные широко на наших стале-трубопрокатных заводах с использованием разных станов, работы В. В. Жолобова [3], В. И. Баллода [4] и др. с несомненностью показали полную применимость и рациональность этих методов в производстве труб из цветных металлов и их сплавов [5].

Современное производство цельнотянутых труб стальных и из цветных металлов состоит из следующих основных фаз: 1) получение трубной заготовки («гильзы») методом «косой» прокатки или прессования; 2) прокатка гильзы на требуемый размер в горячем или холодном состоянии или холодная протяжка; 3) отделочные операции: отжиг, правка, правка, обрезка, опробование гидравлическим давлением и пр.

Метод косой прокатки цельнотянутых труб был изобретен братьями Рейнхардом и Максом Маннесман в 1886 г. До этого времени цельнотянутых стальных труб не делали совсем.

Производство стальных труб прокаткой в настоящее время ведут следующими методами:

а) Классический метод Маннесмана: прошивка на стане с валками диаметром 600—1000 мм с последующим утонением толщины стенки на пильгер-стане и отделкой в калибровочном стане. Этим методом сейчас производят трубы диаметром от 125—150 до 600 мм.

б) Метод косой прокатки: 1) прошивка на стане Маннесмана с небольшим диаметром валков (350—450 мм) или 2) на стане Штифеля с последующим в обоих случаях утонением стенки в так называемом автоматическом стане на пробке и дальше прокаткой на рилинг-машине и калибровочном стане. Первым методом нормально вырабатывают трубы диаметром от 60 до 225 и вторым — при грибовидных валках от 76 до 165 мм и при дисковых от 60 до 135 мм.

Оба эти метода получения заготовки применимы и при производстве труб из цветных металлов.

в) Кроме того, за последние годы появились новые конструкции станов: Дишера (1927 г.), Форена (1932 г.) и др., которые дали возможность получать в горячем состоянии трубы более тонкостенные. Этим методом можно вырабатывать трубы диаметром соответственно от 95 до 220 мм при толщине стенки от 2 до 7—8 мм и от 50 до 100 мм при толщине стенки до 1,2—1,6 мм. Эти станы вполне применимы в производстве труб из цветных металлов и их сплавов.

---

[1] Берлин и Козачков, Новые способы производства бесшовных тонкостенных труб, «Советская металлургия», № 5—6, 1935, стр. 69—81; № 8, стр. 63—68.

[2] Отчет о работе, не напечатанный (см. Бюллетени ЦНИИ).

[3] В. В. Жолобов и Г. А. Смолянов, Обзор способов производства тонкостенных труб, «Цветные металлы» № 10, 1937, стр. 69—76.

[4] В. И. Баллод, Производство труб без захваток, «Цветные металлы» № 9, 1937, стр. 84—93.

[5] По крайней мере касательно меди, латуни (работы ЦНИИ ГЦМО), медно-никелевых сплавов в отношении горячей и холодной прокатки и дуралюмина в отношении холодной прокатки вопрос не вызывает никаких сомнений.

г) Наконец, в 1928 г. был изобретен стан Ройкрайт, в 1933 г.—Кокса и пр., которые дали возможность заменить трудоемкую операцию волочения труб в холодном состоянии методом прокатки. Стан Рокрайт получил уже в промышленности большое распространение и в США, и у нас в Советском Союзе, причем оказалось что за один пропуск в таком стане можно дать стальной и медной трубе вытяжку до 8,4, в то время как при протяжке на цепном стане вытяжка не может быть сделана выше 1,4—1,5, т. е. одна прокатка заменяет пять-шесть протяжек. При этом обеспечивается экономия в расходе металла от 10 до 40%, в пять-шесть раз уменьшается работа отжига и травки, получается значительная экономия в рабочей силе и пр. Этот метод находит сейчас в производстве труб (и стальных, и цветных металлов, и сплавов) диаметром от 15 до 65 мм и даже до 90 мм очень широкое распространение; только трубы диаметром менее 15 мм приходится тянуть попрежнему на цепных станах[1].

Производительность трубопрокатных станов по сравнению с производительностью, даваемой прессами, огромна. При этом еще нужно иметь в виду, что прокаткой на указанных выше установках получают в конечном результате совершенно готовые трубы диаметром 50 мм и выше, которые подвергаются далее только обрезке в меру и нарезке по концам для муфт или фланцев. Трубы диаметром менее 50 мм после подогрева обжимают на специальных редуцировочных станах обычно до диаметра не ниже 32—33 мм и только трубы более мелких диаметров обрабатывают протяжкой или прокаткой на станах Рокрайт.

Примерная производительность сталетрубопрокатных установок в год следующая:

Стан Маннесмана для труб	5—10″	производительность	128 000 т
» » »	6—12″	»	153 000 »
» » »	8—16″	»	180 000 »

что обеспечивается часовой производительностью:

для труб 6″ . . .	87 шт.	для труб 10″ . . .	62 шт.
» » 8″ . . .	72 »	» » 12″ . . .	57 »

Стан Фасля дает до 200 труб в час диаметром 2—4½″.

Стан Штифеля — до 200 труб диаметром 2¾—3½″ и как рекордные цифры до 300—340 шт[2].

Такой производительности пресс, конечно, дать не может. Выше, в табл. 49 (стр. 236) указана производительность прессов разного давления. Мы видим цифры в три-четыре раза меньшие. Таким образом преимущество прокатных станов в отношении производительности несомненное.

После изобретения братьями Маннесман, а затем Штифелем станов так называемой «косой» прокатки стальные трубы стали готовиться исключительно ротационным методом, в производстве же труб из цветных металлов в Европе главное место занял изобретенный в 1894 г. Александром Диком гидравлический пресс. Причиной этого являлось именно то, что со станов косой прокатки прежней конструкции возможно было получать собственно не трубы, а довольно толстостенные заготовки (гильзы), которые затем нужно было подвергать сложной обработке на пильгер-станах, автоматических и пр.

[1] Все эти методы производства труб из цветных металлов автор излагает в особом разделе курса обработки давлением «Прокатка труб». Этот труд уже подготовлен к печати, и автор ставит своей последующей задачей выпуск книги, посвященной этому виду обработки цветных металлов.

[2] См. газету «Правда» от 8 марта 1939 г., статья «В дни Съезда работать еще лучше».

или же многим протяжкам в холодном состоянии для получения требуемых размеров труб. Наоборот, гидравлические пресса дали возможность получать заготовки (сравнительно с прокатными станами) со значительно более тонкими стенками, которые требуют всего одной-двух протяжек. Отсюда естественно, что они в производстве труб из цветных металлов и получили в Европе до последнего времени превалирующее значение. Большим их преимуществом является также и то, что методом прессовки можно получить трубы и прутки из таких сплавов, которые методом прокатки (вследствие малой пластичности их и короткого температурного предела обрабатываемости) либо совсем, либо почти этого не допускают. Сейчас в Европе нет таких заводов, где не было бы установлено несколько этих прессов давлением от 300 до 5000 т[1]. Недостатком этого метода обработки является, однако, большая стоимость установки, большое количество неизбежных отходов и значительно меньшая производительность по сравнению с прокатным станом.

Это ставит пресса в худшее положение против прокатных станов. Последние обладают по сравнению с прессами, как то показано выше, в три-четыре раза большей производительностью, дают значительно меньшее количество отходов, более дешевы и по своей стоимости, и в эксплоатации, не требуют дорогостоящего и быстро изнашивающегося инструмента из специальной высокожароупорной стали, в виде матриц, игл и т. п. Поэтому нужно думать, что в большинстве производств труб диаметром более 50 мм из цветных металлов метод прокатки в недалеком будущем займет также то место, которое он по праву занимает в сталетрубопрокатных заводах. Однако нельзя думать, что пресс этим будет совершенно вытеснен. Во всяком случае в производстве труб малого диаметра (менее 50 мм), а также в производстве прутков, профилей, заготовки для проволоки и пр. гидравлический пресс вследствие своей универсальности и легкости перехода с одного изделия на другое будет попрежнему занимать заслуженное им место.

Дж. Эванс[2], большой сторонник метода производства труб из цветных металлов прокаткой, все же считает, что этим методом рентабельно вырабатывать только трубы диаметром более 50 мм, и для этого производства он намечает такую схему: прошивка гильзы на стане Эванса[3] или Дишера — раздача по диаметру для получения труб бо́льших диаметров и, наоборот, прокатка для получения труб диаметров меньших и для утонения толщины стенок.

Что же касается труб диаметром менее 50 мм, то заготовку для них он считает правильным получать прессовкой и далее вести ее обработку прокаткой в холодном состоянии на станах Рокрайт, а еще далее протяжкой.

Таким образом пресс своего значения не потерял и никогда не потеряет, ибо, кроме производства труб (в крайнем случае диаметром менее 50 мм), за ним во всяком случае остается производство профилей, а также прутков и заготовки для проволоки, как за агрегатом универсальным, легко перестраиваемым и дающим, несмотря на указанные недостатки, все же неплохие технико-экономические показатели.

---

[1] В последнее время установлены пресса в 7000 т и строятся пресса даже в 10 000 т.

[2] См. указатель ряда его статей на стр. 259.

[3] Конструкция этого стана отличается от стана Дишера применением вместо валков типа Маннесмана дисков Шифеля и вместо вертикальных тянущих трубу дисков косо поставленных роликов (см. Metallurgia, 1934, February, p. 118).

ГЛАВА IV

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРЕССОВЫХ ЦЕХОВ

Общие соображения. Проектирование новых и реконструкция существующих прессовых цехов ведется следующим образом. Экономическая группа проектной организации по получении от хозорганизаций соответствующего задания изучает вопрос, как лучше решить эту задачу — путем ли реконструкции одного или нескольких существующих заводов и каких именно, или постройки одного или нескольких заводов новых и где именно, какой мощности и пр., учитывая при этом местонахождение сырья и районов потребления, интересы транспорта, наличие электроэнергии, воды, рабочей силы и т. п. На основе всех этих данных экономистами совместно с технологами разрабатывается проектное задание, в котором дается точное указание по номенклатуре, количеству и годам выпуска изделий для каждого выпускающего продукцию цеха и примерная сумма необходимых капиталовложений и стоимости продукции. По утверждении этого задания материалы поступают на разработку в техническую группу, которая и приступает к подробной разработке технологической части проекта.

Подсчеты начинаются с выпускающих цехов. В нашем случае определяется на основе заданий для проволочного, прутково-трубного и других соответствующих цехов, какое количество заготовки и какого размера и веса должен дать прессовый цех. Получив такое задание, соответствующая группа приступает к подробной разработке его. В порядке последовательности обосновываются следующие моменты:

1) кроме продукции, изготовляемой для заказчиков, цех будет иметь и свой внутренний передел, например, крупные горизонтальные пресса должны давать заготовку для вертикальных; крупных размеров трубы могут итти из полых слитков; последние нужно разрезать, обточить и т. п., — поэтому программа работы цеха уточняется; 2) обосновываются размеры слитков и разрабатывается схема технологического процесса; 3) определяется потребное для обеспечения программы количество слитков и получающееся при этом количество отходов — обрезков, остатков, стружки, и пр.; 4) составляется баланс металла; 5) делается выбор оборудования цеха; 6) определяется количество прессов, пил, токарных, токарно-центровальных и других станков и прочего оборудования (печи и т. д.); 7) подсчитывается общий расход воды всеми прессами и на основе этого определяется объем аккумулятора, количество и производительность насосов и мощность обслуживающих их моторов; 8) составляется подробный план цеха с указанием расположения всего оборудования и не-

обходимых подсобных и бытовых помещений, с приложением необходимых разрезов здания, на основе которых специальная группа разрабатывает строительную часть проекта; 9) разрабатывается схема трубопровода и производится расчет его сечений; 10) разрабатывается в масштабе грузовой поток металла в цехе; 11) делается расчет разного рода транспортного оборудования и сооружений.

Определяются: 12) расход электроэнергии; 13) расход воды, пара, газа и т. п., инструмента и вспомогательных материалов; 14) количество и квалификация производственных, подсобных и вспомогательных рабочих, административно-технического и конторского персонала и фонд их зарплаты; на основе установленного количества работающих разрабатываются вспомогательные и бытовые помещения цеха и делается их проект; 15) мероприятия по технике безопасности, организации и планированию производства; 16) необходимые на строительство капиталовложения, для чего рассчитывается стоимость здания, оборудования, инвентаря, инструмента, а если необходимо, жилфонда, также стоимость потребного для выполнения программы сырья, вспомогательных материалов, электроэнергии, воды, пара, газа и др.; 17) на основе вышеприведенных материалов составляется смета производства и калькуляции себестоимости изделий, выводятся так называемые «технико-экономические» показатели данного проекта.

Разберем более подробно разработку важнейших вопросов технического характера.

1. ПРОГРАММА РАБОТЫ ЦЕХА

Выше указывалось, что прессовые цеха выпускают не готовые изделия, а полуфабрикат-заготовку, которая передается в другие цеха для дальнейшей обработки. Полуфабрикатом является заготовка для проволоки, прутков, труб, профили, слябы (например электрона) для прокатки на листы и полосы, кузнечная заготовка для поковок и т. п.

На горизонтальных прутковых прессах производятся — заготовка для проволоки прутков и профилей, слябы и кузнечная заготовка; на прутково-трубных прессах могут готовиться те же изделия и кроме того — трубы диаметром от 50 мм и выше. Трубы диаметром менее 50 мм изготовляются большей частью на вертикальных прессах 600 и 300 т, причем для прессования применяются не слитки, а нарезанная на куски определенной длины полая или цельная заготовка. Ее нужно нарезать, обтачивать, центровать и т. п.

В связи с этим получаемая от волочильного отдела программа для горизонтальных прессов со спецификацией заготовки для отправляемых на сторону изделий дополняется в прессовом отделе своей внутренней спецификацией необходимого передела и уже эта программа принимается за основание для дальнейших расчетов.

2. СХЕМА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И РАЗМЕРЫ СЛИТКОВ

Установив программу выпуска, намечаем принципиальную схему обработки. Не касаясь метода получения прутков и проволоки прокаткой, что составляет совершенно особый вид обработки, отметим, что производство прутков, профилей, заготовки кузнечной и заготовки для проволоки идет по единому пути, — а именно: нагрев, прессование на горизонтальном прессе, обрезка и разрезка на требуемую длину, браковка и далее передача в волочильное отделение для дальнейшей обработки, где разница может быть только в том, что прутки и заготовка для проволоки диаметром до 15 мм тянутся

на волочильных станках с горизонтальным или вертикальным барабаном, а свыше 15 мм — на цепных протяжных станках.

В производстве трубной заготовки могут быть разные варианты. Заготовки могут получаться путем прокатки или прессования в виде толстостенной трубы, которая далее может обрабатываться вновь прокаткой на больший диаметр (раздача трубы), может прокатываться в горячем или холодном состоянии на меньший диаметр с утонением стенки, но также может протягиваться на цепных станах с уменьшением и диаметра, и толщины стенки. В зависимости от выбранного метода производства для одного и того же размера готовой трубы размеры идущей в волочение или в прокатку на стане Рокрайт заготовки (гильзы) будут различны. Равным образом будут различны размеры слитков, из которых получается данная гильза, в зависимости от того, получается она прокаткой или прессовкой. Операций получения трубной заготовки прокаткой в данной книге мы не касаемся. Этому вопросу посвящается особый раздел читаемого автором курса, так что в данном случае будем начальной операцией считать прессование.

Практика и подсчеты при проектировании трубных установок показывают, что в зависимости от материала и диаметра готовых труб наиболее рентабельными являются следующие принципиальные схемы производства.

I. Трубы медные диаметром:

1) более 200 мм — прессование на 2500—3000-т прессе — раздача, в случае необходимости, на больший диаметр — волочение на цепном стане;

2) от 200 до 50—60 мм — прессование на 2500—3000-т прессе — волочение на цепном стане;

3) от 50—60 до 20 мм — прессование на 1500-т прессе — прокатка на Рокрайте № 2 — прокатка на Рокрайте № 1 или прессование на 1500-т прессе — волочение на цепном стане;

4) от 20 мм до 15 мм — прессование на 1500-т прессе — прокатка на Рокрайте № 1 — протяжка на волочильном стане с горизонтальным барабаном через 2 матрицы;

5) менее 15 мм — прессование на 2500—3000-т прессе — прессование на 600-т прессе — волочение на барабанном станке или прессование на 1500-т прессе — прокатка на Рокрайте № 2 — прокатка на Рокрайте № 1 — волочение на барабанном станке.

II. Трубы латунные Л-62

1. Трубы диаметром более 50 мм обрабатываются, как и медные.

2. Трубы диаметром менее 50 мм наиболее выгодно по выходу годного получить прямо из литого слитка прессовкой [1] с дальнейшей их обработкой прокаткой на Рокрайте № 1 или, в случае применения более мощных установок, двойной прокаткой на Рокрайте № 2 и № 1. Другие методы, как видно из прилагаемой табл. 62, являются менее рентабельными.

---

[1] Для этого применяют вертикальные пресса 600—1000 т. Дж. Эванс указывает, что для этой цели в Англии применяют вертикальные пресса до 2000 т. За границей в последнее время замечается отход от применения вертикальных прессов, прессостроительные фирмы рекомендуют применять пресса горизонтальные, давлением не ниже 1000 т.

Таблица 62

Количество отходов и выход годного при производстве различными методами латунных Л-62 труб диаметром менее 50 мм [1]

	Слиток ∅ 100 мм Пресс 600-т Рокрайт № 1 Отделочные операции	Слиток ∅ 175 мм Пресс 1500-т Рокрайт № 2 Рокрайт № 1 Отделочные операции	Слиток ∅ 250 мм Пресс 3000-т Пресс 600-т Рокрайт № 1 Отделочные операции	Слиток ∅ 100 мм Пресс 600-т Цепной стан Отделочные операции	Слиток ∅ 250 мм Пресс 3000-т Пресс 600-т Цепной стан Отделочные операции
I. Литейный цех	16,3	9,0	9,5	16,3	9,5
II. Трубный цех					
Пресс 3000-т	—	—	15,0	—	15,0
» 1500-т	—	12,0	—	—	—
» 600-т	2,5	—	2,5	2,5	2,5
Рокрайт № 2	—	2,3	—	—	—
» № 1	2,3	2,3	2,3	2,3	—
Цепной стан	—	—	—	10,0	10,0
Отделочные операции	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Итого по трубному цеху от					
а) слитка	9,8	21,6	24,8	19,8	32,5
б) шихты	8,2	19,6	22,4	16,6	29,4
Всего отходов от шихты	24,5	28,6	31,9	32,9	38,9
Выход годного от шихты	76,5	71,4	68,1	67,1	61,1

[1] По материалам Гипроцветметобработки.

III. Трубы латунные ЛМ-70

1. Бо́льшего диаметра — прессование из слитка на 600-т прессе — прокатка на Рокрайте № 2.

2. Меньшего диаметра — прессование на 600-т прессе из слитка — волочение.

IV. Трубы мельхиоровые

Прессование на 2500—3000-т прессе — обточка — резка на заготовку для вертикального пресса; центровка — прессование на 600-т прессе — травка — сушка — правка — обрезка; холодная прокатка на Рокрайте — отжиг — правка — обрезка и т. д.

В среднем можно считать выход годного в зависимости от метода обработки, примерно указанный ниже в табл. 63.

V. Трубы легких сплавов

Трубы алюминиевые, дуралюминовые и электронные идут по таким же общим схемам, только при этом нужно иметь в виду индивидуальные свойства каждого из этих металлов. Так, дуралюмин и алюминий допускают и прокатку на Рокрайтах, и волочение на протяжных цепных станах; электрон хорошо прессуется, но холодная его обработка волочением крайне затруднительна, так как металл быстро

и сильно «наклепывается», допускает только небольшие обжатия, требует поэтому частых отжигов. Слитки этих сплавов для горизонтальных прессов отливаются полые с отверстием меньше требуемого внутреннего диаметра и затем обрабатываются внутри и снаружи на токарных станах. Отпрессованная, нарезанная на определенной длины куски заготовка для вертикальных прессов снаружи обтачивается, а внутренний диаметр делается сверловкой или также растачивается в случае, если она с горизонтальных прессов получается полой.

Таблица 63

Средний выход годного при производстве труб разными методами

I. Прессование—прокатка на Рокрайте одинарная или двойная [1]—отделочные операции.
II. Прессование—прокатка на Рокрайте—волочение
III. Прессование—волочение на цепном стане

Наименование	Метод производства		
	I	II	III
Трубы медные	64,8	63,7	61,2
» латунные Л-68	62,1	60,0	54,3
» » Л-72	77,9	75,4	72,6
» » ЛМ-70	82,0	81,6	74,2
» мельхиоровые	62,5	62,5	33,0

[1] В зависимости от диаметра трубы.

Установив принципиальную схему производства, подкрепляемую впоследствии точными расчетами рентабельности выбора того или иного метода обработки, волочильное отделение по заданной программе выпуска готовых изделий, учитывая свои отходы на захватки, при контроле и т. п., определяет размеры и количество требующейся ему заготовки и свое требование передает прессовой группе или в заводе прессовому отделению, которые на этой основе разрабатывают так называемые «технологические» или «инструкционные карты». Примерный их тип дан в табл. 64, 65 и 66 для готового прутка диаметром 14 мм из латунного сплава ЛС-59, медной трубы диаметром 198 × 190 мм и латунной Л-62 трубы диаметром 8 × 6 мм. Первые две карты простые с одиночной прессовкой: из слитка диаметром 145 мм длиной 350 мм прутка диаметром 14,8 мм, который путем одной протяжки дает требуемый диаметр 14 мм; из слитка 400×420 мм полой заготовки диаметром 225 × 210 мм для трубы 198 ×190 мм. Третья карта дает тип производства двойной прессовкой: слитка 175 × 475 мм на пруток диаметром 59 мм, который после нарезки на куски длиной по 120 мм и центровки прессуется на трубы 21 × ×19 мм — минимальный рентабельно получаемый с пресса размер. Такие карты разрабатываются для каждого вида изделий и в крайнем случае для одного изделия из группы одинаково разрабатываемых изделий. Этот один номер выбирается из группы как средневзвешенный.

Разберем более подробно расчет и построение карты №1 (табл. 64).

Из требования волочильного отделения выписывается: металл, размер готового изделия и вес 1 шт. готового изделия. Все остальные цифры вписываются прессовой группой на основе своих расчетов, практики и соображений. По диаметру прутка, приняв необходимый процент деформации или вытяжку, определяется минимальный диаметр контейнера, из которого следует прессовать такого вида изделия. Подбирается наиболее подходящий размер контейнера,

Технологическая карта № 1 Таблица 64

Металл (сплав): латунь ЛС-59
Размер готового изделия: диаметр 14,8 мм × 2860 мм
Средний вес 1 готового изделия: 4,06 кг
% выхода годного от слитка: 82,67
Норма расхода заготовки на 1 т готового изделия: 1210 кг

Изделие: пруток
Наименование и размер (заготовки): 145 × 350 мм
Средний вес 1 шт. слитка (заготовки): 49 кг
Откуда (заготовка): из литейного цеха

Операции		Механизм		Размеры штуки после операции, мм			Вес после операции			Потери металла												Заправочный коэффициент
										отходы при						угар		всего				
										прессовании		резке		контроле ОТК				на данной операции		с начала		
наименование операции	техническая характеристика	наименование	№ на плане	длина	ширина или наружный диаметр	толщина или внутренний диаметр	1 шт., кг	количество	общий, кг	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Подача слитка	Транспорт	Электрокара	—	350	145	—	49	1	49	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,21
Нагрев . . .	Температура 750°	Печь	—	350	145	—	49	1	49	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,21
Прессование .	В пять отверстий с рубашкой	Пресс 1000-т	—	5800	14,8	—	8,94	5	42,7	6,23	12,7	—	—	—	—	0,07	0,15	6,3	12,85	6,3	12,85	1,05
Резка	На две части	Ножницы	—	2900	14,8	—	4,22	10	42,2	0,50	1,0	—	—	—	—	—	—	0,5	1,00	6,8	13,85	1,04
Нарезка задней части и ломка	—	Пресс	—	2860	14,8	—	4,16	10	41,6	0,60	1,23	—	—	—	—	—	—	0,6	1,23	7,4	15,08	1,03
Просмотр и разбраковка	Ручная	—	—	2860	14,8	—	4,05	10	40,5	—	—	—	—	1,1	2,25	—	—	1,1	2,25	8,5	17,33	1,00
Отправка на волочение .	Транспорт	Электрокара	—	2860	14,8	—	4,05	10	40,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,00
Итого . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	40,5	7,33	14,93	—	—	1,1	2,25	0,07	0,15	8,5	17,33	8,5	17,33	—

Технологическая карта № 2

Таблица 65

Металл (сплав): медь М-1 и М-3
Размер готового изделия: труба 225×210 мм
Средний вес 1 шт. готового изделия: 152,5 кг
% выхода готового от слитка: 64,85%
Норма расхода заготовки на 1 т готового изделия: 1540 кг

Изделие: трубы медные 225×210 мм
Наименование и размер слитка (заготовки): слиток 400 × × 420 мм
Средний вес 1 шт. слитка (заготовки): 470 кг
Откуда слиток (заготовка): из литейного цеха

Наименование операции	Техническая характеристика операций	Механизм		Размеры шт. после операции, мм			Вес после операции			Потери металла												Заправочный коэффициент
										отходы при						угар		Всего				
										прессовании		резке		контроле ОТК				по данной операции		с начала		
		наименование	№ на плане	длина	ширина или наружный диаметр	толщина или внутренний диаметр	1 шт., кг	количество	общий, кг	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Подача слитка	Транспорт	Электрокары	—	420	400	—	470	1	470	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,54
Нагрев	Температура 900°	Печь	1	420	400	—	470	1	470	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,54
Прессование	—	Пресс 3000-т	2	6900	225	210	315,6	1	315,6	153,2	32,6	—	—	—	—	1,2	0,25	154,4	32,85	154,4	32,85	1,20
Резка	Резка на две части с обрезкой концов	Пилы	3	3350	225	210	154,6	2	309,2	—	—	6,4	1,36	—	—	—	—	6,4	1,36	160,8	34,21	1,10
Просмотр и разбраковка	Ручная	—	—	3350	225	210	152,5	2	305	—	—	—	—	4,2	0,94	—	—	4,2	0,94	165,0	35,15	1,00
Отправка на волочение	Транспорт	Электрокары	—	3350	225	210	152,5	2	305	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,00
Итого	—	—	—	—	—	—	—	—	305	153,2	32,6	6,4	1,36	4,2	0,94	1,2	0,25	165,0	35,15	165,0	35,15	—

Государственная библиотека СССР имени Ленина

Технологическая карта № 3

Таблица 66

Металл (сплав): латунь Л-62
Размер годного изделия: труба 21×18×3220 мм
Средний вес 1 шт. готового изделия: 25 кг
% выхода годного от слитка: 76,9
Норма расхода заготовки на 1 т готового изделия: 1300 кг

Изделие: труба
Наименование и размер слитка (заготовки): 175 × 475 мм
Средний вес 1 шт. слитка (заготовки): 260 кг
Откуда слиток (заготовка): из литейного цеха

Наименование операции	Техническая характеристика операций	Механизм		Размер штуки после операции, мм			Вес после операции			Потери металла												Заправочный коэффициент
										отходы при						угар		Всего				
										прессовании		резке		контроле ОТК				по данной операции		с начала		
		наименование	№ на плане	длина	ширина или наружный диаметр	толщина или внутренний диаметр	1 шт., кг	количество	общий, кг	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Подача слитка	Транспорт	Электрокара	—	475	175	—	260	1	260,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,30
Нагрев	Температура 750°	Печь	4	475	175	—	260	1	260,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,30
1 прессование с разрезкой на три части	—	Пресс 1000-т	5	3380×3	59	—	81,0	3	243,0	16,6	6,4	—	—	—	—	0,4	0,15	17,0	6,55	17,0	6,55	1,22
Правка	—	Пресс эксцентриковый	6	3380×3	59	—	81,0	3	243,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,22
Резка	Разрезка на 27 частей и отрезка концов	Пила	7	120	59	—	2,78	27×3=81	225,2	—	—	17,8	6,9	—	—	—	—	17,8	6,9	34,8	13,45	1,13
Центровка	—	Станок	8	120	59	18,5	2,54	27×3=81	205,7	—	—	19,5	7,5	—	—	—	—	19,5	7,5	54,3	20,95	1,03
Нагрев	Температура 750°	Электропечь	9	—	59	18,5	2,5	27×3=81	205,3	—	—	—	—	—	—	0,4	0,15	0,4	0,15	54,7	21,10	1,02
Прессование	—	Пресс 300-т	10	3220	21	18,0	2,5	27×3=81	201,9	3,4	1,3	—	—	—	—	—	—	3,4	1,3	58,1	22,40	1,01
Просмотр и разбраковка	Ручная	—	—	3220	21	18,0	2,5	80	200,0	—	—	—	—	1,9	0,7	—	—	1,9	0,7	60,0	23,1	1,00
Отправка на волочение	Транспорт	Электрокара	—	3220	21	18,0	2,5	80	200,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,00
Итого	—	—	—	-	—	—	—	—	200,0	20,0	7,7	37,3	14,4	1,9	0,7	0,8	0,3	60	23,1	60	23,1	—

устанавливается окончательный размер слитка и определяется коэффициент запрессовки.

Далее вычисляется длина слитка с тем расчетом, чтобы за отходом прессостатка и обрезки концов получить после прессования изделие требуемой или кратной требуемой длины. Длину прутка после прессовки желательно получить возможно большую, допускаемую силой пресса и сплавом, с тем, чтобы вести прессование этого сплава в одной фазе и получить структуру изделия возможно более равномерной (см. главу I). Последнее соображение и заставляет принять слиток сплава ЛС-59 длиной всего 350 мм с тем, чтобы каждый из 5 (прессование в 5 очков) прутков диаметром 14,8 мм после прессования получился не длиннее 6 м.

В данном случае длина, точно равная 5800 мм, является кратной требуемой 2860 мм с необходимым отходом по концам.

Возможность получения данного изделия с пресса определенного давления и слитка определенных размеров проверяется далее по приведенным в главе I и III формулам и константам. Веса подсчитываются или лучше принимаются по справочнику Главцветметобработки или по прейскуранту этого Главка на прокат из цветных металлов.

Заполнение столбцов 1—10 просто и затруднений представить не может. Дальнейшие графы заполняются так. Отходы по весу (графа 11) вычисляются по их размерам, а процент отхода (графа 12) определяется делением цифры графы 11 на начальный вес, в данном случае 49 кг. В отношении угара расчет делается наоборот, т. е. принимается на основе практики обычный процент угара (графа 18) и по нему вычисляется соответственная потеря металла в килограммах (графа 17). Цифра отходов при ОТК в процентах (графа 16) берется, примерно, на основе данных практики и по ней вычисляется вес отхода в килограммах (графа 15). Графы 19—22 получаются суммированием просто. Цифры графы 23 определяются делением цифры каждой строки графы 10 на последнюю, принятую за единицу.

В конце таблицы (итого) рекомендуется указывать отдельно общий вес изделий из одного слитка, а также веса и виды отходов, подлежащих обратной их сдаче в литейный цех, и невозвратный угар, представляющий чистую потерю металла.

После сказанного заполнение карт 2 и 3 и построение схемы обработки не представит затруднений. Следует только обратить внимание на крайнюю полезность наличия в карте граф 9 и 10, чтобы из карты сразу было ясно, какое количество изделий появляется после разрезки и каков их вес. Наличие этих граф очень облегчит ведение расчетов и избавит от ненужных ошибок.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБНОГО КОЛИЧЕСТВА СЛИТКОВ И ПОЛУЧАЮЩЕГОСЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ КОЛИЧЕСТВА ОТХОДОВ

Размеры слитков уже установлены. Переходим к расчету количества слитков и получающегося в производстве количества отходов. Подсчеты эти рекомендуется вести по таблицам, которые необходимо составить по каждому металлу и сплаву отдельно. Форма такого ведения подсчетов на основе технологических карт дана ниже в табл. 67. В качестве примера сделан подсчет количества слитков и получающихся отходов при выпуске прутков медных диаметром 14,8—1000 т, труб медных диаметром 225×210 мм—5000 т и диаметром 21×18 мм — 1500 т в год, технологические карты для которых были приведены выше в табл. 64, 65 и 66.

Заполнение таблиц и расчеты понятны из приведенного примера, поэтому особого пояснения не делается.

Таблица 67

Расчет количества слитков, отходов и угара на годовую программу

Наименование изделий	Материал	Размеры и вес 1 шт. готовых изделий—заготовки: ширина или наружный диаметр, мм	толщина или внутренний диаметр, мм	длина, мм	вес, кг	Количество готовых изделий на программу: шт.	т	Количество заготовок из одного слитка: шт.	кг	Потребное количество слитков на программу: шт.	вес 1 шт., кг	общий вес, т	Количество отходов из 1 слитка: прессостаток, кг	стружка, кг	при контроле, кг	угар, кг	Количество отходов итого на программу: прессостаток, т	стружка и опилки, т	при контроле, т	угар, т	Всего, т
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Прутки	Медь	14,8	—	2860	4,05	247 700	1000	10	40,5	24 770	49	1210	7,33	—	1,1	0,07	181,3	—	27,2	15,0	210
Трубы	»	225	210	3350	152,5	32 780	5000	2	305,0	16 890	470	7705	153,2	6,4	4,2	1,20	2511,2	105	68,9	19,9	2705
»	»	21	18	3220	2,5	600 000	1500	80	200	7 500	260	1950	20,0	37,3	1,9	0,8	150,0	279,8	14,2	6,0	450
Итого		—	—	—	—	—	7500	—	—	—	—	10 865	—	—	—	—	2842,5	384,8	110,3	27,4	3365

Отходы: крупный прессостаток . . . . . 2842,5 т

при контроле изделий . . . . . 110,3 »

2952,8 т

опилки и стружка . . . . . 384,8 »

Итого 3337,6 т

Угар . . . . . 27,4 »

Всего . . . . . 3365,0 т

4. БАЛАНС МЕТАЛЛА

Если бы литейный цех выдал прессовому только то количество слитков, которое мы определили выше в гр. 11 и 13 табл. 67, то прессовый цех выполнить программу в точно определенный срок не смог бы, так как часть полученных слитков у него не будет иметь непрерывного движения (нагрев в печах для некоторых сплавов весьма продолжительный, например для некоторых 6—8 час., остывание отпрессованных изделий и т. п.). Необходимо предвидеть, что возможны перерывы в подаче слитков (например, зимой во время сильных метелей и пр.) и т. д. Поэтому литейный цех должен начинать свою работу ранее, чем прессовый, и должен дать материал для задела (металл в обороте). Так для обеспечения непрерывности производства прессовый цех должен иметь известный запас слитков порядка половины или одной суточной потребности, если цеха — рядом; иногда запас этот должен быть значительно больше, например, если слитки доставляются с другого завода. Просмотр на контроле и выдача готовых изделий на склад также не могут итти совершенно непрерывно и т. д. Необходимо с другой стороны учесть, что прессовый цех не сможет сдавать свои обрезки и другие отходы в литейный цех непрерывно в момент их получения в производстве, почему в цехе всегда будет их находиться около 0,5 сменного количества и т. д. Поэтому литейный цех должен иметь на складе известный запас отходов и свежих металлов для обеспечения непрерывности своего производства.

Учитывая все эти моменты и местные условия, необходимо составить ведомость добавочного количества металлов и сплавов, которые цех должен у себя иметь в обороте. Примерный вид такой ведомости дан в табл. 68.

Таблица 68

Ведомость добавочного металла в обороте прессового цеха в т

№ по пор.	У каких устройств или на каких операциях находится металл	Металлы и сплавы		
		медь	латунь	и т. д.
1	Запас слитков на складе цеха (½—1 смены)			
2	У нагревательных печей (½ смены)			
3	В нагревательных печах			
4	На остывании после прессования (½—1 смены)			
5	У правильного станка			
6	У ножниц или пилы			
7	У токарных и центровочных станков			
8	У шабровочных и прочих станков			
9	На контроле и т. д.			

Суммируя теперь цифры табл. 67 и 68, можем составить баланса металла на год типа, приведенного в табл. 69 (см. стр. 274).

Таблица 69

Баланс металла

№ по пор.	Приход	Вес т	№ по пор.	Расход	Вес т
	Получить из литейных цехов			**А. Выпустить изделий**	
1	Слитки медные:		1	Труб медных . . . . . мм	
	размерами мм весом по кг			. . . . . »	
	» » » » »			. . . . . »	
	» » » » »			и т. д.	
	и т. д.			Итого . . .	
	Итого . . .			Прутков медных . . . . мм	
	Для оборота в цехе			. . . . . »	
	Итого слитков медных . . .			. . . . . »	
2	Слитки латунные Л-62			и т. д.	
	размерами мм весом по кг			Итого . . .	
	» » » » »			Итого изделий медных	
	» » » » »		2	Труб латунных Л-62 . . . мм	
	и т. д.			. . . »	
	Итого . . .			. . . »	
	Для оборота в цехе			и т. д.	
	Итого слитков латунных Л-62			Итого . . .	
				Прутков латун. Л-62 . . . мм	
				. . . »	
				. . . »	
				и т. д.	
				Итого . . .	
				Итого изделий Л-62	
3	Слитки мельхиоровые		3	Труб мельхиоровых . . . мм	
	размерами мм весом по кг			. . . »	
	» » » » »			. . . »	
	и т. д.			и т. д.	
	Итого . . .			Итого . . .	
				Итого изделий мельхиоров.	
				Б. Сдать в литейный цех	
			4	Медь-прессостатки	
				стружки и опилки . . .	
				Итого . . .	
			5	Латунь Л-62	
				Прессостатки	
				Стружка и опилки	
				Итого . . .	
				и т. д.	
				Итого отходов	
				В. Угар	
			6	Медь	
				Латунь Л-62	
				и т. д.	
				Итого . . .	
			7	Остаток незавершенного производства	
	Баланс . . .			Баланс . . .	

5. ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ЦЕХА

Уже при разработке технологических карт параллельно решался вопрос о необходимой силе давления прессов и их конструкции (тип вертикальный или горизонтальный, пресс прутковый или прутково-трубный и пр.); поэтому в этом разделе производится дальнейшее уточнение выбора оборудования. Производится проверка тоннажа прессов, выбирается давление воды, тип аккумулятора, схема управления установкой (электрическая, пневматическая, электро-пневматическая и пр.), тип насосов, дистрибуторов, тип печей, загрузочных и разгрузочных устройств, тип и размеры ножниц, пил, правильных машин, станков для обточки слитков и их разрезки для центровки и т. п.

При окончательном выборе тоннажа прессов необходимо иметь в виду следующее. Излишняя мощность устанавливаемых прессов влечет за собой большой расход дорогой гидравлической энергии, ввиду больших размеров цилиндров, а это и без того слабое место в таких установках, и особенно при горизонтальных прессах, имеющих большой холостой ход. Это в свою очередь влечет за собой необходимость установки аккумуляторов излишней емкости, неиспользуемой надлежащим образом производительности насосов и т. д.

Большие пресса при их включении и остановке будут еще сильнее повышать и без того большие колебания в давлении воды в сети; они менее быстроходны, отчего производительность пресса при тех же размерах слитка будет меньше, а увеличивать размер слитка не всегда возможно, как то было показано в § 3 главы I. Приведенные в главе I (§ 5, разд. В) формулы и в главе III (§ 6) примеры расчетов силы давления пресса дают возможность более или менее надежно определить для данных условий работы тоннаж пресса. Поэтому необходимо стремиться выбирать пресса такого давления, какое необходимо для данной работы с определенным запасом мощности, учитывая возможность подачи слитка недостаточно прогретого, возможность увеличения размеров слитка или прессования более трудно прессуемого сплава и пр.

Если одну и ту же работу можно выполнить на прессах более мощных и менее сильных, что обычно бывает на предельных размерах (минимальных для больших прессов и максимальных для меньших), то вопрос нужно решать с точки зрения экономической целесообразности (себестоимость изделия), загруженности пресса и пр.

6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ПРЕССОВ, НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ И ДРУГОГО ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Пресса. Зная количество подлежащих прессованию слитков и приняв (в зависимости от материала и размеров их) степени деформации, количество прессовок в час, тип и величину пресса, определяем необходимое количество прессов для выполнения программы и процент их загруженности. Если при этом выяснится, что какой-либо силы пресс будет загружен очень мало, а соседние по тоннажу также несколько недогружены, то необходимо разработать вопрос о передаче работы на них. При такой передаче работы следует позаботиться, чтобы процент деформации был не ниже предельно возможного для данного вида продукции.

Самый расчет рекомендуется вести также по таблицам типа, примерно, приведенного ниже (табл. 70). Самая методика заполнения и расчета проста и ясна из приведенного в таблице примера, почему особых пояснений не дается.

Таблица 70

Расчет потребного количества прессов

№ по пор.	Пресс		Изделия					Потребное количество слитков на программу шт.	Принятое число прессований в час	Потребное число часов работы прессана программу	Принятое возможное число часов работы пресса в течение года	Потребное количество прессов		Коэффициент загрузки, %
	Тип	Давление, т	Наименование	Материал	Размеры, мм: ширина или наружный диаметр	Размеры, мм: толщина или внутренний диаметр	Размеры, мм: длина					расчетное	принятое	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Горизонтальный	3000	Трубы	Дюралюмин	170	148	3250	620	7	88,6	—	—	—	—
				»	126	110	3500	1 663	7	237,6	—	—	—	—
				»	105	91	4900	17 022	10	1702,2	—	—	—	—
				»	90	80	8400	18 012	12	1501,0	—	—	—	—
			Прутки	»	41	—	8500	7 210	14	515,0	—	—	—	—
				»	51	—	7000	12 000	15	800,0	—	—	—	—
				»	170	—	1700	7 200	20	360,0	—	—	—	—
	Итого . .	—	—	—	—	—	—	—	—	5204,4	5480*	0,95	1	95

* Цех работает в 3 смены по 7 часов каждая.

Пресс в течение года может работать около 85% рабочего времени (10%—ремонты, 5%—смена инструмента и пр.). Отсюда возможное число часов работы пресса в течение года определяется равным $T = 307 \cdot 3 \cdot 7 \cdot 0{,}85 \approx 5480$ час.

Печи. Взяв из табл. 70 количество слитков, прессуемых в час на каждом прессе, а из технологических карт размеры слитков и температуры их нагрева соответственно сплаву и типу пресса, мы будем иметь все данные для определения внутренних размеров печи и внешнего габарита, а также для определения потребной ее мощности и расхода энергии при электропечах — или расхода горючего при печах иного типа. Производительность печи при прессе следует выбирать с таким расчетом, чтобы она в будущем не лимитировала производительности пресса. Практически эта задача решается принятием ее производительности на 20—25% выше принятой для пресса.

Пилы. Для резки прутков и труб из цветных металлов при небольшом их диаметре целесообразно применять ленточные пилы типа Зака (табл. 71) ввиду их быстроходности и большой производительности, достигающей 190 и более резов в минуту. Резка небольшого диаметра прутков и труб производится пачками, что делает эти пилы в этом случае еще более производительными. Прутки диаметром свыше 50—60 мм и трубы диаметром свыше 70 мм обычно режутся на быстроходных пилах типа Вагнера. Характеристика нескольких таких пил Самарского завода дана ниже в табл. 72. Коэфициент использования станка может быть принят около 95—98%.

Таблица 71

Характеристика ленточных пил типа Зака

	Тип В-200	Тип В-400
Диаметр ленточной шайбы, мм	640	800
Ширина ленты, мм	20	25
Толщина » »	0,85	1,2
Мощность двигателя, квт . .	0,5	0,75
Вес, кг	1400	2600

Средняя производительность таких пил по данным практики составляет при резке меди и латуни диаметром до 120 мм около 1,25 т/час и > 120 мм — около 1,70 т/час.

При резке Cu + Ni-сплавов производительность составляет 60% указанной.

Таблица 72

Характеристика быстроходных пил типа Вагнера

Диаметр изделия, мм	Диаметр диска пилы мм	Вес, кг	Диаметр изделия, мм	Диаметр диска пилы мм	Вес, кг
до 220	660	3 300	до 350	1010	5 640
» 245	710	3 300	» 550	1610	14 100
» 270	760	3 300	» 600	1710	14 100
» 300	910	5 640	» 650	1810	14 100
» 825	960	5 640			

Наиболее часто применяемый на наших заводах станок № 862 имеет диаметр диска 710 мм при толщине 6 мм. Пила делает от 6 до 180 оборотов в 1 мин. (в среднем работают обычно при $n = 120$ об/мин.). Габарит такого станка 2050 × 1150 мм и высота 1600 мм. Подача разрезаемого прутка производится маслом; при давлении масла в 15 кг/см² подача за 1 оборот пилы равна $m = 5$ мм. Вспомогательное время на 1 рез $\tau_2 = 4—5$ сек. Полное время на разрезку определяется следующим образом.

Пример. Определить производительность пилы при резке заготовки $d=69$ мм. Машинное время

$$\tau_1 = \frac{d}{m} \cdot \frac{60}{n} = \frac{69}{5} \cdot \frac{60}{120} \approx 7 \text{ сек.}$$

Полное время на один рез

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 = 7 + 4 = 11 \text{ сек.}$$

Отсюда производительность станка будет

$$z = \frac{3600}{11} = 320 \text{ шт/час.}$$

Средняя производительность таких дисковых пил на резке заготовки для вертикальных 300- и 600-т прессов по данным практики указана ниже в табл. 73.

Таблица 73

Производительность пил типа Вагнера на резке цельной заготовки для вертикальных прессов

№ по пор.	Для пресса	Материал	Размер нарезанной заготовки, мм	Производительность в час, шт.
1	300 т	Медь и латунь	59—69 × 115—120	295—320
2	600 »	» » »	85 × 102	215—265
3	600 »	» » »	98,5 × 102	185—215
4	600 »	Медноникелевые сплавы	85 × 102	110—130

Пилы при резке труб диаметром 150—200 мм делают 75 резов в час и > 200 мм — в среднем 55—60 резов в час.

Зная из табл. 70 количество потребных для выполнения программы слитков, а из технологических карт (табл. 64—66), сколько резов нужно сделать на 1 слиток, определяется количество нужных для установки пил и коэфициент их загрузки. Расчет также рекомендуется вести по табл. 74 и 75, приведенным ниже.

Таблица 74

Расчет потребного количества дисковых пил

Размер заготовки мм	Потребное количество слитков на годовую программу шт.	Число резов на 1 слиток	Число резов на годовую программу	Число резов в 1 час [1]	Потребное количество часов работы пилы на годовую программу	Принятое количество часов работы пилы в течение года	Число пил расчетное
110 × 129	19 120	9	172 080	180	955		
190 × 205	1 619	15	24 285	130	171		
200 × 214	5 158	11	56 738	100	567		
50,8	8 163	7	5 141	300	17		
97,5	29 449	30	885 470	200	4430		
					6140	6120 [2]	1,0 [3]

[1] Число резов в час здесь взято по табл. 73.

[2] Расчет числа часов работы пилы в течение года при трех сменах по 7 часов каждая: $21 \cdot 307 \cdot 0{,}95 = 6120$ час.

[3] Имея в виду возможные остановки пилы для ремонта и пр., для обеспечения непрерывности производства, берем две пилы; средний коэфициент их загрузки будет около 50%.

Таблица 75

Расчет потребного количества ленточных пил

Размер заготовки мм	Потребное количество слитков на годовую программу шт.	Число резов на 1 слиток	Число резов на годовую программу	Число резов в 1 час	Потребное количество часов работы пилы на годовую программу	Принятое количество часов работы пилы в течение года	Число пил расчетное
70 × 78	22 458	11	247 038	200	1 230		
50 × 58	27 317	7	191 219	200	959		
50 × 59	59 947	7	419 629	200	2 098		
54 × 63	78 088	15	1 171 320	200	5 856		
26 × 32	328 230	27 [1]	4 587 220	200	22 936		
26 × 32	555 240	15 [2]	2 776 200	200	13 881		
∅ 5,5	2 022	68 [2]	52 506	200	212		
∅ 7,6	20 212	40 [2]	282 968	200	1 415		
∅ 9,6	15 159	20 [2]	151 590	200	757		
∅ 12,7	50 530	12	606 360	200	3 032		
∅ 25,8	91 350	21	1 918 350	200	9 592		
					61 968	6120 [3]	11,25 [4]

[1] Режется одновременно 2 трубы или 2 прутка.
[2] Режется одновременно 3 трубы или 3 прутка.
[3] Расчет числа часов работы пилы в течение года: 21·307·0,95=6120 час.
[4] Принято 11 шт.; средний коэфициент загрузки их будет

$$\frac{11{,}25}{11}\cdot 100=102{,}3\%.$$

Правильные станки

Таблица 76

Производительность правильных станков типа Эрхард и Земер

Размер	Модель	Диаметр изделий	Скорость правки, v м/мин	Коэфициент машинного времени	Габарит м
I	WRM	до 20 мм	38	79	2,5 × 1,0
II		» 30 »	30	83	2,5 × 1,0
III		» 125 »	25	32	2,8 × 1,4
IV		>125 »	15	20	2,8 × 1,4

Отсюда производительность этих станков будет:

при d < 20 мм 38·0,79·60 = 1800 м/час
20—30 » 30·0,83·60 = 1500 »
30—125 » 25·0,32·60 = 480 »
> 125 » 15·0,20·60 = 180 »

Зная количество прутков, подлежащих правке, и их длину, просто определяем потребное число часов работы правильных станков по размерам, а приняв коэфициент использования станка в 95% и отсюда принятое количество часов работы станка в течение года, определяем необходимое по программе количество этих станков.

Расчет также рекомендуется вести в таблицах, подобных приведенным выше.

Специальные станки для центровки и обточки поверхности заготовки для вертикальных прессов

Для центровки заготовки меди и латуни Л-62 и сверловки насквозь латуни Л-68, ЛМ-70 и мельхиора для вертикальных прессов типа фиг. 150—151 применяются специальные револьверного типа станки завода С. Орджоникидзе с трехпатронным поворотным суппортом. Сверло зажимается в патроне передней головки. Обрабатываемые заготовки зажимаются в патронах суппорта, причем работа ведется так, что когда одна заготовка центруется, вторая вставляется и далее ждет своей очереди, а из третьего патрона вынимается и затем вставляется третья заготовка. Такие станки имеют большую производительность, показанную в табл. 77.

Таблица 77

Примерная производительность станка на центровке и обточке заготовки для вертикальных прессов

№ по пор.	Материал	Размеры заготовки		Время обработки сек.		
		диаметр мм	длина мм	центровка	сверловка насквозь	обточка
1	Медь и латунь Л-62	59	115—120	185—200	—	—
2	То же	69	115—120	185—200	—	—
3	»	85—100	90—120	95—120	—	—
4	Латунь Л-68 и ЛМ-70	102	150—180	—	90	85—110
5	То же	88	175—220	—	115	70—100
6	Мельхиор	88	120	—	60	70

Заготовка для вертикальных прессов из отлитых слитков, а иногда и с горизонтальных прессов обтачивается на токарных станках. Подача резца у этих станков может быть от 0,2 до 1,75 мм за 1 оборот обрабатываемой заготовки. Обычно работают с подачей в 1 мм. Число оборотов заготовки $n \approx 450$—460 в минуту. Толщина стружки при литой заготовке нормально 2,25—2,5 мм. Коэфициент использования станка 95%. Производительность его в час рассчитывается следующим образом.

Пример. Латунный слиток диаметром 102 мм и длиной 167 мм обтачивается на 97,5 мм. Толщина стружки $s = \frac{102-97,5}{2} = 2,25$ мм. При подаче $m = 1$ мм машинное время на обточку слитка

$$\tau_1 = \frac{167}{1} \cdot \frac{60}{460} = 22 \text{ сек.}$$

По хронометражу ручные операции на одну заготовку занимают время $\tau_2 = 15$ сек.

Таким образом полное время обточки одной заготовки $\tau = 22 + 15 = 37$ сек. и производительность станка в час составляет

$$z = \frac{3600}{37} = 97 \text{ шт/час.}$$

7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЁМКОСТИ АККУМУЛЯТОРОВ, ЧИСЛА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ НАСОСОВ И МОЩНОСТИ ОБСЛУЖИВАЮЩИХ ИХ МОТОРОВ

Расчет объема водяной части аккумулятора

Метод, обычно применяемый для определения объема водяной части аккумулятора. Рабочая емкость водяной части аккумулятора, обслуживающего один-два кузнечных пресса, ранее обычно бралась равной сумме объемов всех цилиндров за вычетом подачи воды насосами за время одного цикла плюс 10—15% запаса в обеспечение покрытия возможных потерь в сети (в соединениях трубопроводов, потерь при работе автоматических аппаратов управления аккумуляторами, насосами, предохранительными клапанами и пр.). Другие конструкторы указанную добавку во внимание не принимают и определяют полезный объем водяной части аккумулятора по формуле:

$$V_w = \frac{3F \cdot c \cdot s + f \cdot s}{0{,}7}, \tag{24}$$

где F — площадь плунжера рабочего хода пресса;

f — площадь плунжера холостого хода пресса;

s — ход плунжера;

c — коэфициент, величина которого в свою очередь определяется по формуле:

$$c = \frac{500}{10p_i} + 0{,}25, \tag{25}$$

где p_i — давление воды, кг/см².

Кузнечные пресса — это сравнительно простые агрегаты, имеющие цилиндры только хода вниз и обратно вверх. Поэтому такой примитивный подход без особых расчетов, учитывающих условия работы, был раньше допустим.

Когда кузнечные пресса стали в установках применяться в большом количестве и большой мощности, то в отношении их такой расчет оказался неудовлетворительным, ибо аккумуляторы получались чрезмерно большими и их емкость не использовалась. Это вызвало появление в печати ряда работ, посвященных вопросу их расчета[1].

Прессостроительные фирмы в настоящее время для установок такого типа по-разному производят подсчет объема аккумуляторов. Одни, учитывая, что максимального расхода воды требует операция самого прессования, определяют рабочий объем аккумулятора равным сумме объемов главных цилиндров, т. е. рассчитывают его емкость для случая совпадения моментов одновременного прессования на всех прессах, минус подача воды насосами за этот период. Другие этого вычета не делают. Наконец, третьи определяют расход воды на полный цикл одного прессования, т. е. учитывают расход на все операции (прессовка, прошивка, передвижение контейнера и т. п.) и принимают рабочий объем аккумулятора равным определенному таким образом, умноженному на коэфициент порядка от 0,70 до 0,85. Hütte[2] считает целесообразным брать объем аккумулятора такой величины, чтобы он был достаточен для полного рабочего хода.

Несмотря на это Н. М. Цамутали[3] определяет объем водяного

[1] Среди них отметим две наиболее серьезные работы, принадлежащие нашим ученым Е. П. Унксову и М. В. Сторожеву. Этим работам посвящен следующий раздел.

[2] Hütte инж.; 1935, т. II, стр. 856.

[3] Н. М. Цамутали, Производство труб из цветных металлов, 1936, стр 118.

баллона аккумулятора еще бо́льшим. Он говорит: «Водяной цилиндр аккумулятора должен иметь запас воды не менее, как на два цикла прессовки из тех соображений, чтобы прессовку можно было всегда довести до конца на одном аккумуляторе, если действие насосов почему-либо прекратится». Такой расчет уже совсем никуда не годен, ибо, если прессостроительные фирмы, имеющие большой опыт, берут рабочий объем водяного баллона равным расходу воды всеми прессами с коэфициентом 0,70—0,85, а некоторые установки, хотя и не совсем хорошо, все же работают при таком коэфициенте, почти равном 0,5, то для чего же брать двойной объем?

Следовательно, вопрос определения рабочего объема водяного баллона аккумулятора еще не уточнен. Это хорошо видно из приведенных ниже примеров.

Примеры. 1. Пусть требуется определить рабочий объем аккумулятора для одного пруткового пресса с силой давления в 10 000 т при давлении воды в 300 кг/см², имеющего максимальный диаметр контейнера 700 и длину 1600 мм.

Площадь главного плунжера определяем по формуле

$$F = \frac{P_{0m} \cdot 1000}{p_{кг/см^2} \cdot 100} = \frac{1000}{300 \cdot 100} \cdot P_{0m} = \frac{1}{30} P_{0m/дм^2}.$$

В нашем случае $F = \frac{1}{30} \cdot 10\,000 = 333$ дм².

Приняв длину слитка $l \approx 1400$ мм $= 14$ дм и запас на утечку и подсобные расходы около 10%, определяем рабочий объем аккумулятора равным

$$V_{раб} = 333 \cdot 14 \cdot 1{,}10 = 5000 \text{ л},$$

каковой аккумулятор и был для одной установки предложен фирмой.

2. Определить рабочую емкость аккумулятора для 6000-т пресса при давлении воды 300 кг/см², имеющего максимальный диаметр контейнера 500 и длину 1100 мм.

Площадь главного плунжера такого пресса

$$F = \frac{1}{30} \cdot 5000 = 166{,}5 \text{ дм}^2;$$

длина слитка $l = 1000$ мм $= 10$ дм.

Тогда рабочий объем аккумулятора по указанному расчету будет:

$$V_{раб} = 166{,}5 \cdot 10 \cdot 1{,}10 = 1831 \text{ л}.$$

Фирмой был предложен для такого пресса аккумулятор в 1700 л.

При установках, состоящих из нескольких прессов, подобным образом определяется рабочий объем аккумулятора для каждого отдельного пресса V', V'', V''' и т. д. и полный рабочий объем водяной части берется равным

$$V_{раб} = (V' + V'' + V''' + \cdots).$$

Пример. Требуется определить рабочий объем аккумулятора для установки, состоящей из восьми прутково-трубных прессов следующей мощности: 5000/5100 т — 1 шт., 3500/4000 т — 1 шт., 1500/1800 т — 1 шт., 1000/1200 т — 1 шт., вертикальных по 850 т — 2 шт., вертикальных по 600 т — 2 шт.

Площади главных плунжеров, длины слитков и другие данные для расчета приведены в табл. 78.

Прибавив к цифре 3842,75 около 25% запаса на расширение установки, получаем рабочий объем водяной части аккумулятора около $V_{раб} = 3842{,}75 \cdot 1{,}25 = 4803$, или, кругло, 5000 л.

Если ту же величину определить по второму методу, т. е. исходя из расхода воды на один полный цикл прессования, то, приняв коэфициент, равный 0,70 — 0,75, получим

$$V_{раб} = 7160 \cdot (0{,}7 \div 0{,}75) = 5000 \div 5370 \text{ л}.$$

При определении указанными методами объема совершенно не учитываются свойства прессуемого материала. А ведь не одно и то же — будет ли прессоваться латунь Л-58, допускающая скорость истечения до 150 см/сек, или дуралюмин, скорость истечения которого

может быть не свыше 2,5—15 см/сек. При одной и той же производительности насосов расход воды у аккумулятора будет различен, а, значит, и его объем должен быть взят различный, дабы в одном случае он был достаточен для обеспечения бесперебойной работы прессов, а в другом не был бы бесполезно велик, напрасно только увеличивая стоимость установки.

Таблица 78

Определение рабочего объема аккумулятора

Число прессов	Мощность пресса т	Давление воды кг/см²	Площадь главного плунжера дм²	Длина слитка, дм	Расходы воды на чистую прессовку, л	Расходы воды на полный цикл прессования л	Число прессовок в час	Расход воды в час л
1	5000/5100	300	167	10	1670,00	3100 [1]	10	31 000
1	3500/4000	300	117	10	1170,00	1600	15	24 000
1	1500/1800	300	50	7,5	375,00	670	30	20 100
1	1000/1200	300	33,3	6,5	216,45	450	40	18 000
2	850	300	3×28,3=56,6	5,5	311,30	2×215=430	40	17 200
2	600	300	2×20=40	2,5	100,00	2×125=250	60	15 000
	Итого.	—	—	—	3842,75	7160	—	125 300

[1] Расход воды на 1 полный цикл прессования принят по данным фирмы «Гидравлик». Данные других фирм немного отличаются от этих величин.

Ясно, что подсчет в этом случае должен быть более точным, основанным на учете назначения установки и всех факторов данной именно работы. Отсутствие таких расчетов и повело к тому, что для указанной выше установки одна фирма предложила аккумулятор в 4000 л, другая в 5000 л и третья в 5500 л.

Метод Е. П. Унксова. По установкам с кузнечными прессами сравнительно недавно появились в печати две большие и серьезные работы Е. П. Унксова [1] и М. В. Сторожева [2], пытавшихся решить эту задачу теоретически, дающих много коэфициентов и разного рода других данных для расчета прессов, трубопроводов, аккумуляторов и пр.

На основе теории вероятностей Е. П. Унксов дает очень интересный метод расчета объема водяной части аккумулятора для группы кузнечных прессов, т. е. прессов простых, имеющих ход вперед — рабочий и назад — холостой. Выведенная им для этого расчета формула имеет следующий вид:

$$V_{раб.\,ак} = (\rho - r)\, V_{цил}, \qquad (26)$$

где $V_{раб.\,ак}$ — рабочий объем аккумулятора;

ρ — так называемый «коэфициент разновременности», определяемый как отношение объема цилиндров прессов, имеющих заданное из условий практики время, протекающее между двумя повторяющимися моментами совместной их работы, к объему цилиндров всех прессов установки;

[1] Е. П. Унксов, Методика расчета объема аккумулятора для группы гидравлических прессов, НИИМАШ, № 8—9, 1932, стр. 398—410.

[2] М. В. Сторожев, К расчету чисто гидравлических кузнечных прессов с аккумуляторами, НИИМАШ, № 8—9, 1932, стр. 371—397 и № 11—12, стр. 505—521.

r — так называемое «среднее относительное время действия прессов», т. е. отношение суммы средней продолжительности прямого и обратного хода ко времени средней продолжительности полного цикла.

Указанные величины p и r определяются методами, приведенными ниже и иллюстрированными в двух помещенных далее частных примерах.

Очевидно, если установка состоит из одного пресса, то вероятность его работы в данный момент будет:

$$\omega_1' = \frac{\tau}{T},$$

где τ — продолжительность рабочего хода и
T — продолжительность цикла.

При установке из двух прессов вероятность работы в данный момент одного пресса будет в два раза большей, а при m прессах такая вероятность будет

$$\omega_m' = \frac{\tau}{T} m.$$

Вероятность совпадения в данный момент одновременного действия двух из m прессов, очевидно, будет в два раза меньше вероятности работы в данный момент одного пресса из группы в m процессов, т. е.

$$\omega_m^2 = \frac{\tau}{T} \cdot \frac{m}{2} = \left(\frac{\tau}{T}\right)^{2-1} \cdot \frac{m}{2}.$$

Вероятность одновременного действия трех прессов из группы в m прессов будет

$$\omega_m^3 = \left(\frac{\tau}{T}\right)^{3-1} \cdot \frac{m}{3} = \left(\frac{\tau}{T}\right)^2 \cdot \frac{m}{2}.$$

Вероятность совпадения одновременной работы k прессов из m установленных будет

$$\omega_m^k = \left(\frac{\tau}{T}\right)^{k-1} \cdot \frac{m}{k}.$$

С другой стороны, два пресса в установке из двух прессов могут давать совместную работу один раз за время

$$\tau_2^2 = \frac{T}{\omega_1'} = \frac{T}{\frac{\tau}{T}} = \frac{T^2}{\tau},$$

и из m установленных прессов k прессов могут давать совместную работу один раз за время

$$\tau_m^k = \frac{T}{\omega_m^k} = \frac{T}{\left(\frac{\tau}{T}\right)^{k-1} \cdot \frac{m}{k}} = \frac{k}{m}\left(\frac{T}{\tau}\right)^{k-1} \cdot T. \qquad (27)$$

Отсюда можно видеть, что при очень большом количестве установленных прессов совпадение работы большого количества прессов будет настолько частым, что аккумулятор может стать совершенно ненужным. Подсчеты показывают, что такое положение будет наступать при установке в 50—70 прессов. При меньшем количестве прессов в установке, очевидно, что частота совпадений с понижением числа прессов все больше и больше будет падать. Поэтому объем аккумулятора в таких установках всегда может быть взят меньше объема всех цилиндров установки.

Отсылая интересующихся к работе Е. П. Унксова (см. сноску на предыдущей странице), приведем здесь только окончательный из нее вывод в виде примера подсчета емкости аккумулятора для установки из групп различных прессов, что наиболее подходит к практике наших заводов.

Пример 1. Пусть имеем установку из одиннадцати простых прессов, т. е. имеющих только ход вперед — рабочий и назад — холостой (тип вертикальных трубных прессов, фиг. 150—151) трех групп, как то указано в табл. 79.

Таблица 79

Группы	Число прессов в группе	Рабочий плунжер прямого хода: диаметр дм	Рабочий плунжер прямого хода: площадь дм²	Средний рабочий ход плунжера дм	Объем цилиндров прямого хода дм³	Продолжительность прямого хода, τ′, сек.	Объем цилиндров обратного хода, дм³	Продолжительность обратного хода, τ″, сек.	Общая продолжительность цикла, T, сек.
1	6	3,0	7,0686	2,0	14,14	2,0	4,9	2,3	45
2	3	4,2	13,8544	3,5	48,49	4,5	17,3	4,2	60
3	2	5,0	19,6350	4,2	82,47	8,4	16,2	5,5	180

Тогда

$$\tau'_{сред} = \frac{2 \cdot 6 + 4{,}5 \cdot 3 + 8{,}4 \cdot 2}{11} = 3{,}84 \text{ сек.},$$

$$\tau''_{сред} = \frac{2{,}3 \cdot 6 + 4{,}2 \cdot 3 + 5{,}5 \cdot 2}{11} = 3{,}40 \text{ сек.}$$

$$T_{сред} = \frac{45 \cdot 6 + 60 \cdot 3 + 180 \cdot 2}{11} = 72{,}00 \text{ сек.},$$

откуда среднее относительное время действия будет

$$r = \frac{3{,}84 + 3{,}40}{72} = 0{,}1.$$

Предположим, что мы по формуле (27) $\tau_m^{\kappa} = \frac{k}{m}\left(\frac{T}{\tau}\right)^{k-1} \cdot T$ нашли, что работа семи прессов из одиннадцати будет совпадать через 365 дней и находим, что такую частоту совпадений по условиям производства мы допустить можем. Тогда коэфициент разновременности ρ будет равен

$$\rho = \frac{7}{11} = 0{,}67.$$

Сумма объемов всех цилиндров установки будет

$$\Sigma V_{цил} = (14{,}14 + 4{,}9) \cdot 6 + (48{,}49 + 17{,}3) \cdot 3 + (82{,}47 + 16{,}2) \cdot 2 = 509{,}25 \text{ дм}^3$$

и рабочий объем аккумулятора по формуле (26) Е. П. Унксова должен быть

$$V_{раб.\ ак} = (0{,}67 - 0{,}1) \cdot 509{,}25 = 290{,}27 \text{ дм}^3$$

или кругло 300 л, т. е. всего 57% объема всех цилиндров. Полный объем аккумуляторного водяного баллона должен быть около

$$V = (1{,}4 \div 1{,}5)\ V_{раб.\ ак} = (1{,}4 \div 1{,}5) \cdot 300 = 420 \div 450 \text{ л}.$$

Забегая немного вперед, отметим, что если бы рабочий объем водяного баллона аккумулятора мы приняли равным объему цилиндров прямого — рабочего хода, как это делают сейчас некоторые заводы, то мы имели бы

$$V_{раб.\ ак} = 14{,}4 \cdot 6 + 48{,}49 \cdot 3 + 82{,}47 \cdot 2 = 84{,}84 + 145{,}47 + 164{,}94 = 395{,}25 \text{ л} \approx 400 \text{ л}.$$

Пример 2. Если установка будет состоять не из простых, а из сложных прессов, как все наши горизонтальные прутковые и прутково-трубные, имеющие, кроме цилиндров прямого и обратного хода главного плунжера, также цилиндры иглы, замка, передвижения контейнера, матрицеизвлекателя и т. п., то нужные нам величины $\tau_{сред}$ и $T_{сред}$ определяются по формулам

$$\tau_{сред} = \frac{m_1\tau_1 w_1 + m_2\tau_2 w_2 + \ldots + m_n\tau_n w_n}{m_1 w_1 + m_2 w_2 + \ldots + m_n w_n}; \qquad (28)$$

$$T_{сред} = \frac{m_1 T_1 w_1 + m_2 T_2 w_2 + \ldots + m_n T_n w_n}{m_1 w_1 + m_2 w_2 + \ldots + m_n w_n}, \qquad (29)$$

где $m_1 - m_2 \ldots m_n$ — число однотипных прессов в группе;
$\tau_1 - \tau_2 \ldots \tau_n$ — продолжительность рабочего хода прессов каждой группы;
$w_1 - w_2 \ldots w_n$ — расход воды высокого давления на одно прессование каждым прессом;
$T_1 - T_2 \ldots T_n$ — продолжительность цикла при работе на прессах данной группы.

Пусть установка состоит из восьми прессов четырех групп, характеристика которых и работы их показана в табл. 80.

Таблица 80

Группа	Давление пресса τ	Число прессов в группе, m	Количество прессовок в час, n	Ход главного плунжера $H_{дм}$	Скорость движения главного плунжера v дм/сек	Продолжительность рабочего хода $\tau''_{сек}$	Продолжительность цикла $T_{сек}$	Расход воды высокого давления на одно прессование, л: на один пресс.	Расход воды высокого давления на одно прессование, л: общий на группу
1	3000	1	25	24	0,8	30	141,2	1900	1900
2	1500	1	33	20	1,0	20	111,2	794	794
3	600	3	80	8,2	1,2	7	45	196	588
4	300	3	120	6,8	1,5	4,5	30	78	234
	Итого . . .			—	—	—	—	—	3516

Примечание. В приведенной таблице сложные прессы как бы приведены к простому типу, почему продолжительность рабочего хода τ определяется делением H на v и продолжительность цикла T делением 3600 сек. на n.

Подставляя величины табл. 80 в приведенные выше формулы (28) и (29) для определения $\tau_{сред}$ и $T_{сред}$, имеем

$$\tau_{сред} = \frac{1 \cdot 30 \cdot 1900 + 1 \cdot 20 \cdot 794 + 3 \cdot 7 \cdot 196 + 3 \cdot 4{,}5 \cdot 78}{1 \cdot 1900 + 1 \cdot 794 + 3 \cdot 196 + 3 \cdot 78} = 24{,}9 \text{ сек.};$$

$$T_{сред} = \frac{1 \cdot 141{,}2 \cdot 1900 + 1 \cdot 111{,}2 \cdot 794 + 3 \cdot 45 \cdot 196 + 3 \cdot 30 \cdot 78}{1 \cdot 1900 + 1 \cdot 794 + 3 \cdot 196 + 3 \cdot 78} = 110{,}9 \text{ сек.}$$

Теперь мы можем вычислить, что совпадение работы восьми, семи и шести прессов из восьми установленных будет происходить через промежуток времени

$$\tau_8^8 = \frac{8}{8}\left(\frac{110{,}9}{24{,}9}\right)^{8-1} \cdot 110{,}9 = 3\,829\,500 \text{ сек.} = 1064 \text{ часа};$$

$$\tau_8^7 = \frac{7}{8}\left(\frac{110{,}9}{24{,}9}\right)^{7-1} \cdot 110{,}9 = 755\,000 \text{ сек.} = 210 \text{ час.}$$

и 6 прессов через промежуток

$$\tau_8^6 = \frac{6}{8}\left(\frac{110{,}9}{24{,}9}\right)^{6-1} \cdot 110{,}9 = 14\,600 \text{ сек.} = 4 \text{ часа.}$$

Предположим, что по условиям производства мы такую частоту, как 210 час., допустить можем, тогда среднее относительное время действия

$$r = \frac{24{,}9}{110{,}9} = 0{,}224,$$

коэфициент разновременности

$$p = \frac{7}{8} = 0{,}875,$$

и рабочий объем водяной части аккумулятора должен быть

$$V_{раб.\,ак} = (0{,}875 - 0{,}224) \cdot 3516 \approx 2300 \text{ л.}$$

Такой расчет нас удовлетворить также не может, так как всегда могут быть сомнения в правильности его применения для каких-либо конкретных условий работы. Так здесь не учитываются такие факторы, как: действительная продолжительность операций прессования, прошивки и т. п., совершенно разных для разных металлов и сплавов, длина слитков и пр.

Автором предложен нижеприведенный метод, дающий более правильный подход к расчету объема водяной части аккумулятора.

Метод П. С. Истомина[1]. Этот расчет основан на имеющихся в данной установке факторах (скорость движения всех органов пресса при рабочем и холостом ходе, длина слитка, качество металла или сплава, производительность насосов и т. п.). Он дает возможность определить надежно не только объем аккумулятора, но также правильные размеры виндкесселя, клапанов и каналов в дистрибуторах, сечения трубопроводов как главных от аккумулятора до дистрибуторов, так и от последних до соответствующих цилиндров.

Для определения опытным путем величины удельных давлений при прессовании различных изделий из разных материалов, а также скорости движения всех частей прессов был заснят[2] достаточно точными для практического решения задачи методами ряд диаграмм (см. например, фиг. 106—109). Определенные на их основе величины максимальных скоростей при холостом ходе и при прессовании наиболее пластичных материалов приведены ниже в табл. 81 и 82.

Таблица 81

Максимальная рабочая скорость движения отдельных органов прессов при прессовании меди, латуни и мунца, дм

Прессы т	Главный плунжер			Плунжер иглы	
	ходы			ходы	
	рабочий	холостой	обратный	рабочий	холостой и обратный
2500	0,80[1]	2,0	3,0	1,3	3,5
1500	1,00	2,5	4,0	1,8	4,0
600[2]	1,20	3,5	5,0	—	—
300[2]	1,50	4,0	6,0	—	—

[1] Рабочие скорости плунжеров могут быть определены подсчетом для прессования любого сплава по скорости истечения (табл. 37 и 38) и степени деформации — вытяжки.

[2] Пресса давлением в 600 и 300 т — вертикальные, типа фиг. 150—151 с иглой, укрепленной в пуансоне.

Зная эти скорости, а также размеры плунжеров, контейнера, слитков, применяемых при прессовании, и прессостатка, можно сделать точный расчет расхода воды на отдельные операции и полного

[1] См. также П. С. Истомин, журнал «Цветные металлы» № 9, 1940, стр. 88—93.

[2] Работа проведена студентами Московского института цветных металлов, ныне инженерами Д. Г. Зильберманом и Л. В. Антоненко, выполнявшими свои дипломные проекты под руководством автора.

расхода на одно прессование каждого пресса. Результаты таких расчетов приведены ниже в таблицах: 83 — для 3000-т пресса, 84 — для 1500-т, 85 — для 600-т и для 300-т.

Весь расчет нужно, конечно, вести для условий, при которых расход воды высокого давления будет максимальный.

Таблица 82

Максимальная скорость v_0 движения отдельных частей пресса при холостом ходе

Наименование	v_0, дм/сек
I. Пресса горизонтальные	
Главный плунжер ход вперед . . .	2,23
» назад	4,45
Игла » вперед . . .	1,67
» назад	3,5—4,0
Матрицедержатель » вперед . . .	4,6
» назад	4,6
Замок » вперед . . .	2,6
» назад	2,6
Нож » вперед . . .	2,4
» назад	2,4
II. Пресса вертикальные	
Главный плунжер ход вперед . . .	1,50
» назад	3,5

Определив таким образом расход воды на каждую операцию и в секунду, а также продолжительность каждой операции, можно построить для каждого типа пресса график потребления воды во времени, отложив по оси абсцисс в определенном масштабе — время в секундах, а по оси ординат — расход воды в секунду на каждой операции.

Совершенно понятно, что рабочий объем аккумулятора должен быть такой величины, чтобы при наибольшем одновременном расходе воды не произошло его опоражнивания. Из приведенных выше таблиц видно, что наибольший расход воды будет при совпадении операций прессования. Поэтому на основе отдельных для каждого типа прессов графиков строим суммарный график так, чтобы совпали начальные моменты прессования. В результате получаем график типа, изображенного на фиг. 233.

График этот построен для установки, приведенной выше в табл. 80, т. е. установки, состоящей из одного пресса в 3000 т, одного в 1500 т, трех вертикальных по 600 т и трех таких же по 300 т. Масштаб чертежа был выбран таким, что 1 см² площади соответствовал 67 л.

Из суммарного графика видно, что за период от 10 до 46,8 сек. расход воды получается наибольшим. Площадь диаграммы за этот период, измеренная возможно точно планиметром, равна 59,6 см², и следовательно, общий расход воды за этот период равен $67 \cdot 59{,}6 = 3980$ л.

За дальнейшие периоды, резко отличные один от другого, площади диаграммы и расход воды прессами показаны в табл. 86.

Таблица 83

Расчет расхода воды 3000-т пресса

№ операции	Наименование операций	Площадь плунжера F, дм²	Рабочий ход L дм	Скорость хода v дм/сек	Продолжительность операции t сек.	Расход воды W, л: на операцию	Расход воды W, л: в 1 сек.	Примечания
1	Подача слитка и пресс-шайбы	—	—	—	10,0	—	—	—
2	Ввод слитка в контейнер пуансоном	157	121	2	6	1880	313	Вода низкого давления
	Ввод слитка в контейнер иглой	21,6	12	2	6	260	43	То же
3	Обжатие слитка пуансоном	157	0,3	0,8	0,4	47	118	
	Обжатие слитка иглой	21,6	0,3	0,8	0,4	6	15	
4	Прошивка » »	21,6	6,2[2]	1,3	4,8	134	28	
5	Прессование слитка	157	5,3[3]	0,8	6,6	830	125	
6	Открытие замка	3,0	5,2	2,6	2,0	16	8	
7	Проталкивание пресс-остатка	157	0,8	0,8	1,0	125	125	
8	Вывод головки матрицедержателя	0,6	24	4,0	6	15	2,5	В расчет продолжительности цикла не входит, так как возможно совмещение
9	Отрезка прессостатка	3,5	6	2,0	3	21	7,0	
10	Подъем ножа	2,0	6	2,0	3	12	4,0	
11	Обратный ход пуансона для надевания шайбы	18	12	3,0	4	215	54	
	То же, иглы	4	12	3,0	4	48	12	
12	Ход вперед для удаления рубашки (пуансон)	157	12	2	6	1880	313	Вода низкого давления
	Ход вперед для удаления рубашки (игла)	21,6	12	2	6	260	43	То же
13	Ход назад пуансона	18	18	3	6	324	54	
	» » иглы	4	12	3,5	3,4	45	14	
14	Охлаждение иглы, очистка контейнера, матрицы, промер и пр.	—	—	—	73,0	—	—	
15	Отвод иглы	4	5,5	3,5	1,6	22	14	
16	Ввод головки матрицедержателя	0,6	24,8	4,0	6,2	15	2,5	В расчет продолжительности не входит, так как возможно совмещение
17	Ввод замка	0,8	5,2	2,6	2,0	4	2	
	Итого	—	—	—	141,2[4]	1882 ≈ 1900 л		Вода высокого давления
					20,2	4280		Вода низкого давления
					161,4	6162	—	

[1] Холостой ход равен длине контейнера плюс запас 200 мм: 1000 + 200 = = 1200 мм.

[2] Ход иглы равен длине слитка минус запрессовка плюс проход за матрицу: 600—30 + 50 = 620 мм.

[3] Ход пуансона равен длине слитка минус запрессовка минус прессостаток: 600—30—40 = 530 мм.

[4] Отсюда производительность в час $z = \frac{3600}{141{,}2} \approx 25$ прессований.

Таблица 84

Расчет расхода воды 1500-т пресса

№ операций	Наименование операций	Площадь плунжера F, дм²	Рабочий ход L, дм	Скорость хода v дм/сек	Продолжительность операции τ, сек.	Расход воды W, л: на операцию	Расход воды W, л: в 1 сек.	Примечания
1	Подача слитка и пресс-шайбы	—	—	—	10	—	—	—
2	Ввод слитка в контейнер пуансоном	76	10[1]	2,5	4	760	190	Вода низкого давления
	Ввод слитка в контейнер иглой	19,6	10	2,5	4	196	49	То же
3	Обжатие слитка пуансоном	76	0,25	1,0	0,3	19	76	
	Обжатие слитка иглой .	19,6	0,25	1,0	0,3	4,9	19,6	
4	Прошивка » »	19,6	5,15[2]	1,8	2,9	101	35	
5	Прессование слитка . .	76	4,4[3]	1,0	4,4	334	76	
6	Открытие замка	2	3,5	2,6	1,4	7	5	
7	Проталкивание прессостатка	76	0,7	1,0	0,7	53	76	
8	Вывод головки матрицедержателя	0,4	20	4,0	5	8	1,6	В расчет продолжительности цикла это время не входит, так как возможно совмещение
9	Отрезка прессостатка на пиле	—	—	—	10	—	—	
10	Подъем ножа	2,0	6	2,0	3	12	4	
11	Обратный ход пуансона для надевания шайбы .	7,6	10	4,0	2,5	76	30,4	
	То же	2,24	10	4,0	2,5	22,4	9,0	
12	Ход вперед для удаления рубашки (пуансон)	76	10	2,5	4	760	190	Вода низкого давления
	То же (игла)	19,6	10	2,5	4	196	49	То же
13	Ход назад пуансона . .	7,6	15	4	3,8	114	30,4	
	» » иглы	2,24	10	4	2,5	22,4	9,0	
14	Охлаждение иглы и пр.	—	—	—	53,0	—	—	
15	Отвод иглы	2,24	4,6	4,0	1,2	10,3	9,0	
16	Ввод головки матрицедержателя	0,4	20	4,0	5,2	8	1,6	
17	Ввод замка	0,6	3,5	2,6	1,4	2,1	1,5	
	Итого . .	—	—	—	111,1[4]	794,1	—	Вода высокого давления
					15,0	912	—	Вода низкого давления
					130,1	2706,1	—	

[1] Холостой ход равен длине контейнера плюс запас 200 мм: 800 + 200 = = 1000 мм.

[2] Ход иглы равен длине слитка минус запрессовка плюс продвижение за матрицу: 500 — 25 + 40 = 515 мм.

[3] Ход пуансона равен длине слитка минус запрессовка минус прессостатом: 500—25—35 = 440 мм.

[4] Отсюда производительность в час $z = \frac{3600}{111,1} \approx 33$ прессование.

Расчет расхода воды вертикальными прессами 600 и 300 т

№ операции	Наименование операций	Пресс 600-т: площадь плунжера F дм²	рабочий ход L, дм	скорость хода v дм/сек	продолжительность операции τ, сек.	расход воды W, л: на операцию	расход воды W, л: в 1 сек.	Пресс 300-т: площадь плунжера F дм²	рабочий ход L, дм	скорость хода v, дм/сек	продолжительность операции τ, сек.	расход воды W, л: на операцию	расход воды W, л: в 1 сек.	Примечания
1	Подача слитка и смазка иглы . .	—	—	—	6	—	—	—	—	—	4	—	—	
2	Холостой ход и прошивка	30	6,3[1]	3,5	1,8	189	105	15	5,6[2]	4	1,4	84	60	Около половины высокого и столько же низкого давления
3	Прессование	30	1,9	1,2	1,6	57	36	15	1,2	1,5	0,8	18	22,5	
4	Ход вверх, обратный	2×1,5=3	8,2	5	1,6	24,6	15	2×0,8=1,6	6,8	6	1,1	11	10	
5	Ввод прошивочного пуансона . .	—	—	—	3,0	—	—	—	—	—	3,0	—	—	
6	Обрезка трубы	30	5,0[3]	3,5	1,4	150	105	15	4[4]	4	1	60	60	Вода низкого давления
7	Удаление прессостатка	3	5	5	1,0	15	15	1,6	4	6	0,7	7	10	
8	Удаление прорезного пуансона, очистка, смазка контейнера, охлаждение иглы	—	—	—	28,6	—	—	—	—	—	18	—	—	
	Итого	—	—	—	45[5]	196,1*	—	—	—	—	30[6]	78	—	Вода высокого давления
						239,5**	—	—	—	—	—	102	—	Вода низкого давления
						435,6						180		

[1] Ход равен 820—190 = 630 мм.
[2] Ход равен 820—320 = 500 мм (320—длина прорезного пуансона).
[3] Ход равен 680—120 = 560 мм.
[4] Ход равен 680—280 = 400 мм (280—длина прорезного пуансона).
[5] Отсюда число прессований в час $z = \frac{3600}{45} = 80$.
[6] Отсюда число прессований в час $z = \frac{3600}{30} = 120$.

Так как насосы подают все время воду непрерывно, то далее учитываем эту подачу. Имея в виду расход воды на одну операцию и число прессовок в час каждого пресса, находим, что всего в минуту в среднем насосы должны обеспечить подачу воды:

для одного 3000-т пресса

$$\frac{1 \cdot 1900 \cdot 25}{60} = 790 \text{ л/мин};$$

для одного 1500-т пресса

$$\frac{1 \cdot 794 \cdot 33}{60} = 437 \text{ л/мин};$$

для трех 600-т прессов

$$\frac{3 \cdot 196 \cdot 80}{60} = 784 \text{ л/мин};$$

для трех 300-т прессов

$$\frac{3 \cdot 78 \cdot 120}{60} = 468 \text{ л/мин};$$

Итого получается 2479 л/мин, или 41,5 л/сек.

Такую подачу воды может обеспечить насосная установка, состоящая из четырех насосов производительностью по 665 л/мин. Тогда постоянная подача воды в сеть будет

$$\frac{665 \cdot 4}{60} \approx 44 \text{ л/сек.}$$

За период от 10 до 46,8 сек. насосы подадут воды $44 \cdot (46{,}8 - 10) = 1620$ л и, значит, из аккумулятора за этот период будет взято только $3980 - 1620 = 2360$ л. Подобным же образом определяем подачу воды и за другие периоды. Результаты подсчетов сведены ниже в табл. 86.

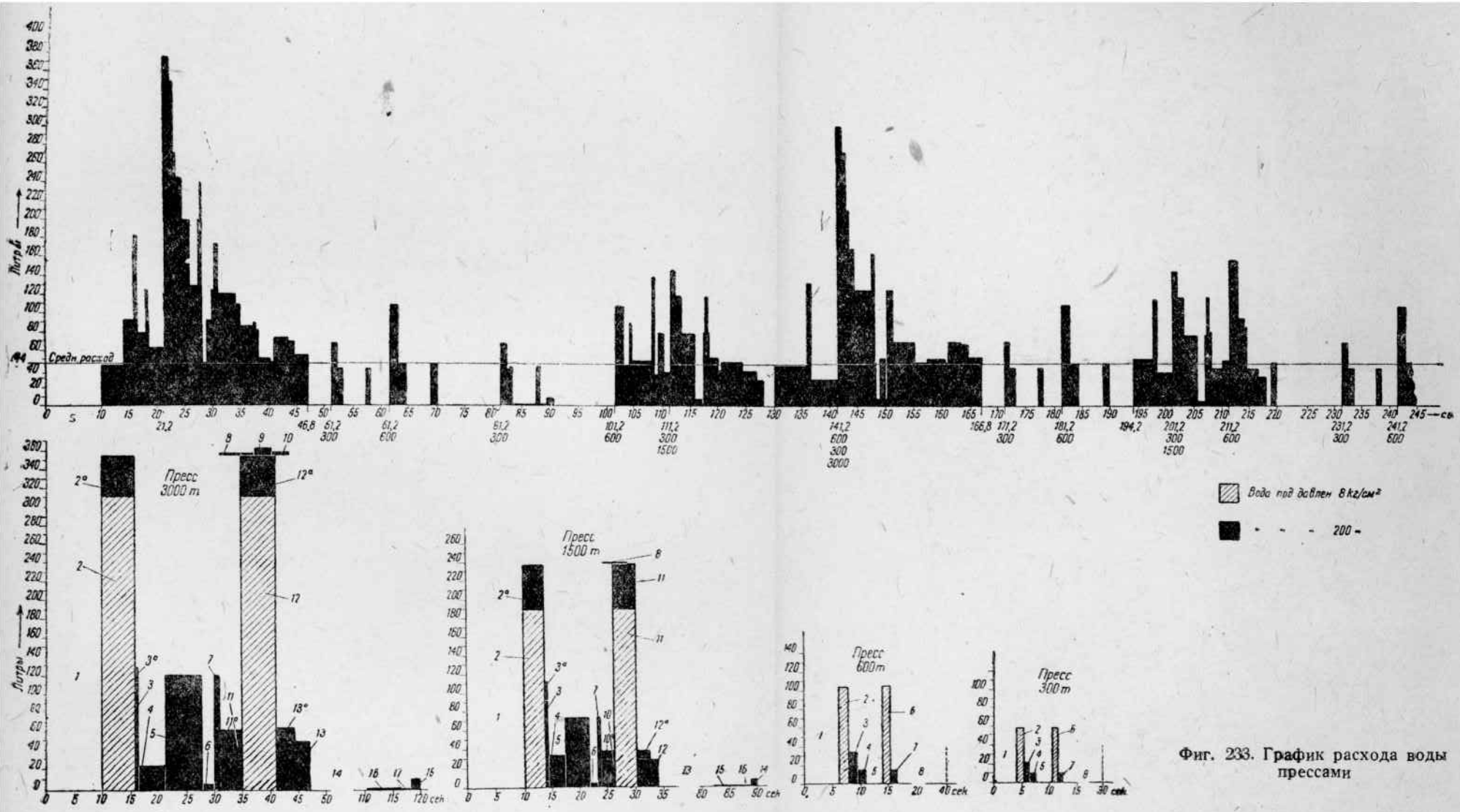
Таблица 86

Расчет расхода воды из аккумулятора

№ периодов	Периоды	Площадь диаграммы см²	Расход воды прессами л	Подача воды насосами л	Разность, л		Общий результат л
					—	+	
1	10 — 46,8	59,50	3980	1620	2360	—	—2360
2	46,8—101,2	7,90	530	2390	—	1860	— 500
3	101,2—166,8	60,80	4400	2890	1510	—	—2010
4	166,8—194,2	5,97	400	1220	—	820	—1190
5	194,2—219,8	23,60	1580	1130	450	—	—1640
6	219,8—241,2	1,65	110	940	—	830	— 810
	и т. д.						

Из этой таблицы и графика фиг. 233 видно, что решающим является первый период, в течение которого из аккумулятора берется 2380 л; за все последующие периоды аккумулятор будет частично пополняться и общий расход всегда будет ниже указанного.

Дальнейшие совпадения начальных моментов прессования могут произойти только через промежуток времени, кратный цифрам 141,2, 111,2; 45 и 30, т. е. примерно, через 14 400 сек., или через 4 часа; когда аккумулятор будет безусловно полон. Таким образом для данной установки рабочий водяной объем аккумулятора должен быть 2360 л или, кругло, 2300 л.



Фиг. 233. График расхода воды прессами

Результат, как видим, весьма близкий к исчисленному выше по методу Е. П. Уиксова, но предложенный здесь метод, как основанный на учете всех факторов, имеющих место в том или другом производстве и влияющих на расход воды из аккумулятора, является более ясным и более надежным.

Если бы рабочий объем аккумулятора этой установки был определен по первому методу, то таковой был бы равен всего 1934 или 2460 л. Подсчет этот следующий.

Сечение главных плунжеров прессов при давлении воды 200 кг/см² по чертежам равно:

пресс 3000 т	F_{3000} =	157 дм²
» 1500 »	F_{1500} =	76 »
» 600 »	F_{600} =	30 »
» 300 »	F_{300} =	15 »

Длины слитков приняты соответственно 6—5—1,9—1,2 дм.

Поэтому объем воды, потребный на один ход всей установки (принимая запас около 25%), будет равен

$$V = (157 \cdot 6 \cdot 1 + 76 \cdot 5 \cdot 1 + 30 \cdot 1{,}9 \cdot 3 + 15 \cdot 1{,}2 \cdot 3) \cdot 1{,}25 = \\ = 1547 \cdot 1{,}25 = 1934 \text{ л}.$$

Объем явно недостаточный, ибо в течение первого периода (от 10 до 46,8 сек.) пресса заберут из аккумулятора 2360 л, как определено в табл. 86.

Если подсчитать по расходу воды на полный цикл прессования, то объем должен быть примерно около $3516 \cdot 0{,}7 = 2460$ л, как то показывает следующий расчет:

V_{2000} =	1900 л
V_{1500} =	794 »
$3V_{600}$ =	196·3 = 588 л
$3V_{300}$ =	78·3 = 234 »
Итого . . .	3516 л

Проверка существующих установок показывает, что у некоторых из них рабочий объем аккумулятора составляет всего 50—60% полного расхода воды всеми прессами установки на одно прессование.

Приведенные примеры показывают со всей наглядностью неудовлетворительность существующих методов расчета объема водяной части аккумулятора и необходимость точного, индивидуального для каждой установки, расчета, основанного на учете всех условий работы в том или другом случае. Предложенный автором метод расчета является для этой цели более подходящим.

Таким образом рабочий объем водяной части аккумулятора может быть с достаточной для практики точностью подсчитан независимо от того, какой системы будет аккумулятор, т. е. грузовой или пневматический.

Полный объем этой части установки определяется следующим образом.

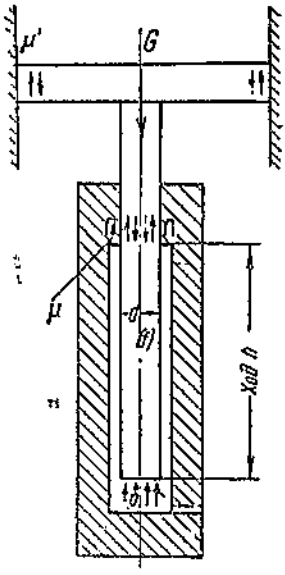
При аккумуляторах грузовых и пневматических поршневых добавляется около 50—100 л для обеспечения определенного запаса воды между торцом плунжера и дном цилиндра и недопущения удара плунжером в это дно. Кроме того должны быть в конструкции предусмотрены надлежащие прочные деревянные опоры, окованные на некотором расстоянии от концов железными кольцами, на которые грузы аккумулятора должны садиться и тем не допускать удара плунжера в дно и в фундаментную плиту. Полный объем водяной

части пневматического беспоршневого аккумулятора делается больше рабочего на 40—50% [1], т. е. принимается

$$V = (1,4 \div 1,5)\, V_{раб}. \qquad (30)$$

Расчет грузов и изменения давления воды при работе грузового аккумулятора [2]

Мы имеем аккумулятор, схема которого изображена на фиг. 234. Силами, действующими при опускании плунжера или при его подъеме, будут следующие. Сверху вниз действует вес всех движущихся частей аккумулятора G. В направляющих, по которым скользят грузы, действует сила трения, возникающая вследствие наличия на практике некоторого перекоса системы, т. е. водяного цилиндра, плунжера или направляющих конструкции (см. фиг. 234), зависящая от величины перекоса β и коэфициента трения μ' и направленная вверх при рабочем ходе аккумулятора и вниз при холостом (наполнении). В манжетах цилиндра по поверхности плунжера действуют силы трения, зависящие от высоты манжета b, коэфициента трения μ и давления воды в цилиндре p и направленные также вверх или вниз в зависимости от направления движения плунжера. Снизу вверх действует давление воды



Фиг. 234. Схема грузового аккумулятора

$$P = p \cdot f = \frac{\pi d^2}{4} \cdot p,$$

где f — площадь сечения плунжера, d — его диаметр.

Наконец, инерция движущихся масс действует вверх или вниз в зависимости также от направления движения.

Составим уравнение равновесия всех сил по принципу д'Аламбера, приняв знак — для рабочего хода (опорожнение цилиндра аккумулятора) и + для холостого хода (наполнение):

$$G - pf \mp \mu' \beta G \mp \mu p \pi d b \pm \frac{G}{g} \cdot W = 0. \qquad (31)$$

На основе этого равенства можно определить как величину внутреннего давления p, так и вес движущихся частей аккумулятора G следующим образом (пока пренебрежем силами инерции движущихся масс, т. е. примем, что $\frac{G}{g} W \approx 0$):

$$p(f \pm \mu \pi d b) = G(1 \mp \mu' \beta). \qquad (32)$$

---

[1] М. В. Костогаров в книге «Гидропрессовые установки» (1936) считает необходимым увеличение рабочего объема аккумулятора в зависимости от его емкости всего на 250—500 л. Такая добавка мала, как показывают хотя бы приведенные в данной книге фиг. 181 и табл. 23. При максимальном диаметре баллона в 1650 мм и даже максимальной добавке в 500 л это дает общую толщу воды ниже нижнего уровня всего в 230 мм. Такого слоя воды для обеспечения невозможности прорыва воздуха в трубопровод недостаточно.

Кроме того верхний уровень воды также нельзя доводить до верха баллона. Поэтому при расчете общего объема водяного баллона нужно принимать указанные выше нормы.

[2] По М. В. Сторожеву.

Обозначив отношение высоты манжета к диаметру плунжера через γ, т. е. приняв $\frac{b}{d}=\gamma$, получаем $b=\gamma \cdot d$ и, значит, $\pi db = \pi d\gamma d = \gamma\pi d^2$. А так как $\frac{\pi d^2}{4}=f$, то $\pi d^2 = 4f$ и $\pi db = 4\gamma f$.

Отсюда

$$p(f \pm 4\mu\gamma f) = pf(1 \pm 4\mu\gamma) = G(1 \mp \mu'\beta) \tag{33}$$

и давление воды

$$p_1 = \frac{G}{f} \cdot \frac{1-\mu'\beta}{1+4\mu\gamma} \tag{34}$$

при рабочем ходе и

$$p_2 = \frac{G}{f} \cdot \frac{1+\mu'\beta}{1-4\mu\gamma} \tag{35}$$

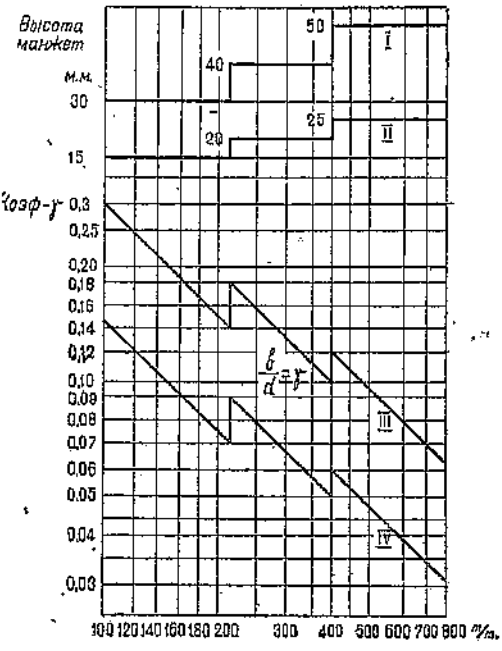
при холостом ходе аккумулятора.

Вес подвижных частей аккумулятора следует определять для его рабочего хода. Поэтому для этой цели будет служить формула:

$$G = p_1 f \cdot \frac{1+4\mu\gamma}{1-\mu'\beta}. \tag{36}$$

Величины, входящие в формулы (34), (35) и (36), имеют следующие значения [1]: μ — коэфициент трения в манжетах, равный 0,03—0,07 для мягкой смазанной кожи; 0,10—0,13 для жесткой сильно дубленой кожи и до 0,20 — при необработанных плунжерах, грязной воде и т. п. (по Лангу). Наиболее часто берут $\mu = 0{,}07$—$0{,}08$. Величину μ' принимают равной 0,10—0,15 и коэфициент $\beta = 0{,}1$ (условно).

Для определения величины γ может служить диаграмма фиг. 235 [2], а также табл. 87 по данным американской фирмы, или табл. 88 (по Зондерману) [3].



Фиг. 235. Величина $\gamma = \frac{b}{d}$ для разного диаметра плунжеров

Таблица 87

Величины b и γ по американским данным

Диаметр плунжера d, мм	44—102	114—117	138—406	406—457	508—787
Рабочая длина манжета b, мм	19	22	25	32	38
Величина $\gamma = \frac{b}{d}$	0,43—0,19	0,19—0,15	0,182—0,062	0,078—0,07	0,075—0,049

[1] Hütte, инж. ч. II, 1935, стр. 359.

[2] М. В. Сторожев, НИИМАШ, № 8—9, 1932, стр. 391, фиг. 8 (лучше брать по кривым I и III).

[3] Для уплотнений с кожаными воротниками, согнутыми под углом 120, 90 и 60°, см. Порецкий, Кузнечное дело, 1934; т. III, стр. 180.

Таблица 88

Размеры манжетов по Зондерману (фиг. 236)

Диаметр плунжера d, мм	Ширина манжета k мм	Длина стенки манжета B мм	Толщина кожи s мм	Рабочая длина b манжета, мм	Строительная длина уплотнения a, мм
< 89 мм	10	14—16	3—3,5	10	22
90—254 »	15	22—25	4—5	14	35
255—459 »	20	32—34	5—8	24	48
460—710 »	22	41—44	5—8	34	64
>710 »	25	48—51	5—8	40	71

Для мягкой асбестовой набивки могут быть приняты (фиг. 237) следующие размеры уплотнения, приведенные в табл. 89.

Таблица 89

Размеры уплотнения при мягкой набивке

d, мм	k, мм	a, мм	m, мм	Число слоев	b, мм
<89	10	85	15	8	75
90—140	15	130	20	8	125
141—405	20	200	30	10	190
>405	25	270	40	10	255

Диаметр плунжера d грузового аккумулятора ориентировочно берется по графику фиг. 238[1] или в соответствии с данными табл. 90.

Таблица 90

Нормальные соотношения размеров грузового аккумулятора

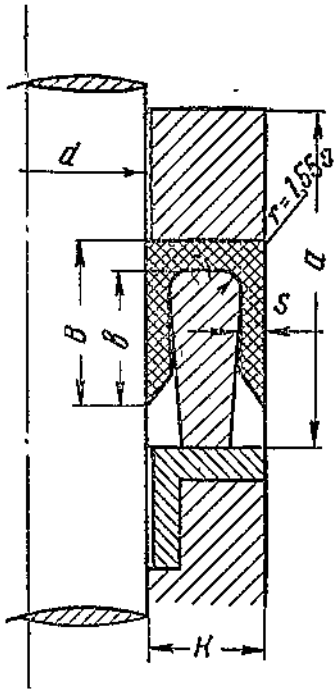
Объем	Плунжер	
л	диаметр d мм	ход h мм
300	300	4250
500	360	5000
1000	460	6000
2000	590	7500
3000	690	8000

Обычное на практике отношение $\frac{h}{d} = 10—12$, хотя иногда можно встретить это соотношение ненормально большим до 10—20[2].

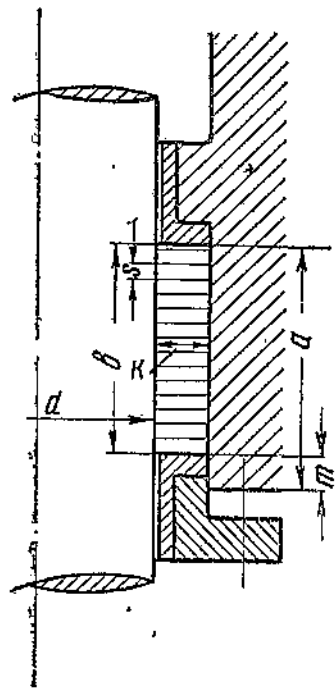
Зная полезный объем аккумулятора $V_{раб}$ и диаметр его d или площадь плунжера f, ход его h определяем по формуле

$$h = \frac{V}{f}. \qquad (37)$$

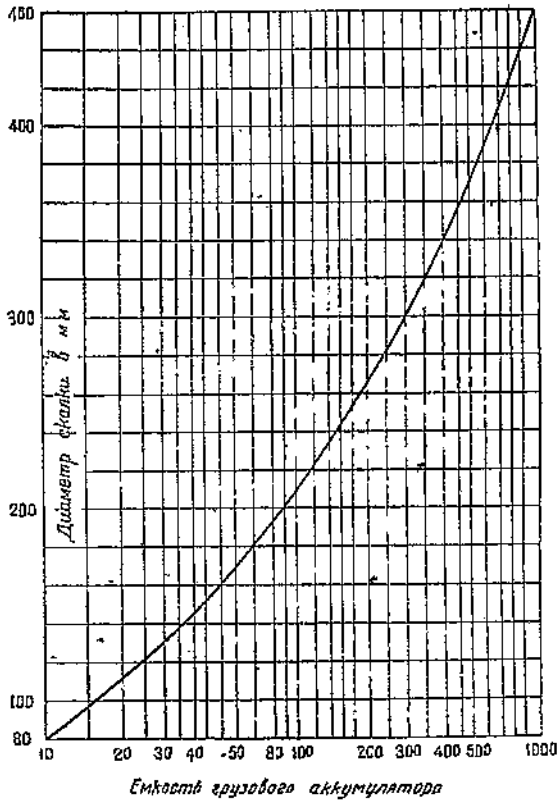
[1] М. В. Сторожев, НИИМАШ, № 8—9, 1932, стр. 392, фиг. 9.
[2] L. Bergeron. Machines Hydrauliques, 1928, § 148, стр. 760.



Фиг. 236. Уплотнение кожаными манжетами



Фиг. 237. Уплотнение сальников мягкой набивкой



Фиг. 238. Величина диаметра плунжера грузового аккумулятора в зависимости от его емкости

Таким образом могут быть определены размеры цилиндра и вес грузов аккумулятора.

Рассмотрение формул (34) и (35) приводит к выводу, что давление воды к концу хода плунжера грузового аккумулятора вниз будет меньше, чем в конце холостого хода. Такое положение будет иметь место лишь в том случае, если аккумулятор работать не будет, и такой вывод получается в результате того, что мы пренебрегли силами инерции. В действительности, при работе, когда груз аккумулятора при расходе из него воды движется с большой сравнительно скоростью вниз, живая сила движущихся масс не может не служить фактором, повышающим давление, поэтому при работе давление p_1 всегда будет больше p_2. Об этом будет подробно сказано далее.

Совершенно понятно, что расчет рабочего объема водяной части пневматических аккумуляторов определяется по тем же формулам, что и аккумулятора грузового, равным образом, как и размеры водяного цилиндра пневматического поршневого аккумулятора. Диаметр плунжера, а также диаметр воздушного поршня и ход пневматических поршневых аккумуляторов могут быть взяты из приведенной табл. 91.

Расчет объема воздушных баллонов пневматического аккумулятора

а) Пневматический поршневой аккумулятор. Обозначим p_1'' — высшее давление в воздушном цилиндре; p_2'' — низшее давление в воздушном цилиндре; D'' — диаметр воздушного цилиндра; F'' — площадь воздушного цилиндра; b'' — высота манжет воздушного цилиндра; μ'' — коэфициент трения в манжетах воздушного цилиндра;

$$\frac{b''}{D''} = \gamma'';$$

d—диаметр плунжера водяного цилиндра; f—площадь плунжера водяного цилиндра; $V_{раб}$ — полный рабочий объем воды в аккумуляторе.

Так как пневматический поршневой аккумулятор отличается от грузового только тем, что вместо (фиг. 239) верхних грузов здесь действующим является давление воздуха на поршень, то очевидно, что мы можем для расчета воспользоваться теми же формулами, подставив вместо веса груза G величину $p''F''$ минус трение в манжетах воздушного цилиндра, т. е.

$$p''F'' \mp \mu''p''\pi D''b'' = p''F''(1 \mp 4\mu''\gamma''),$$

причем знак минус будем считать для рабочего хода и плюс для наполнения аккумулятора. Тогда давление воды в рабочем цилиндре на основе формулы (33)

$$p = \frac{p''F''(1 \mp 4\mu''\gamma'')\ (1 \mp \mu'\beta)}{f(1 \pm 4\mu\gamma)}, \tag{38}$$

откуда

$$\frac{p}{p''} = \frac{F''}{f} \cdot \frac{(1 \mp 4\mu''\gamma'')\ (1 \mp \mu'\beta)}{1 \pm 4\mu\gamma}. \tag{39}$$

Так как в этом аккумуляторе верхних направляющих нет, то множитель $(1 \mp \mu' \beta)$ может быть принят равным единице, и формула получает более простой вид

$$\frac{p_1}{p''} = \frac{F''}{f} \cdot \frac{1 - 4\mu''\gamma''}{1 + 4\mu\gamma} \tag{40}$$

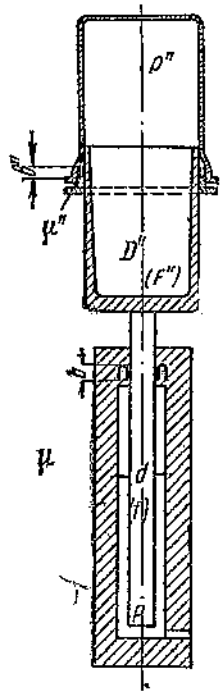
для рабочего хода и

$$\frac{p_2}{p''} = \frac{F''}{f} \cdot \frac{1 + 4\mu''\gamma''}{1 - 4\mu\gamma} \tag{41}$$

для наполнения аккумулятора, где p_1 — минимальное и p_2 — максимальное давление воды в аккумуляторе. Из сравнения формул (40) и (41) видно, что $p_2 > p_1$, что здесь отвечает действительности, так как при расширении воздуха в воздушных баллонах давление в них, а значит, и в водяном баллоне падает.

Отношение $\frac{p_1}{p''} = m$ носит название коэфициента мультипликации. Давление p'' переменное и изменяется от p_2'' при верхнем положении поршня до p_1'' при нижнем на 10 и максимум на 20%. Обычно в современных пневматических аккумуляторах это колебание — перепад — бывает не больше 10%. Обозначим величину этого перепада через n. Тогда величины p_2'' и p_1'' будут связаны соотношением $p_2'' = p_1''(1 + n)$ или

$$\frac{p_2''}{p_1''} = 1 + n. \tag{42}$$



Фиг. 239. Схема пневматического поршневого аккумулятора

Если объем воздушного пространства аккумулятора при верхнем положении поршня обозначен через V'' и колебание объемов через $\Delta V''$, то, приняв, что изменение объемов происходит по политропической кривой с показателем w, т. е. кривой $pV^w = \text{const}$, можем написать равенство:

$$\frac{p''}{p_1''} = \left(\frac{V'' + \Delta V''}{V''}\right)^w = 1 + n. \tag{43}$$

При наполнении водяного цилиндра, т. е. при увеличении полезного рабочего объема $V_{раб}$ от нижнего уровня до верхнего, очевидно, плунжер согласно уравнению (37) поднимается на высоту $h = \frac{V}{f}$. Отсюда сокращение воздушного объема $\Delta V''$ может быть определено следующим образом.

Для воздушного цилиндра эта же высота подъема будет равна

$$\frac{\Delta V''}{F''}.$$

Таким образом

$$h = \frac{V}{f} = \frac{\Delta V''}{F''},$$

откуда

$$\Delta V'' = \frac{F''}{f} \cdot V. \tag{44}$$

На основании уравнений (43) и (44) наименьший допустимый объем воздушных резервуаров определяется следующим образом.

Отношение

$$\frac{p_2''}{p_1''} = \left(\frac{V'' + \Delta V''}{V''}\right)^w = 1 + n$$

может быть преобразовано так:

$$\frac{V''+\Delta V''}{V''}=1+\frac{\Delta V''}{V''}=\sqrt[w]{1+n}.$$

Отсюда

$$\frac{\Delta V''}{V''}=\sqrt[w]{1+n}-1, \quad \text{но } \Delta V''=V\cdot\frac{F''}{f},$$

поэтому отношение $\frac{\Delta V''}{V''}$ равно

$$\frac{V\cdot\frac{F''}{f}}{V''}=\sqrt[w]{1+n}-1,$$

а отсюда минимальный объем воздушных баллонов должен быть

$$V''=V\cdot\frac{F''}{f}\cdot\frac{1}{\sqrt[w]{1+n}-1}. \tag{45}$$

Величина показателя w колеблется от 1,1 до 1,4 и может быть принимаема равной 1,4 [1].

Если расчет вести по изотерме $pV=\text{const}$, т. е. принять $w=1$, то формула (45) получит вид

$$V''=V\cdot\frac{F''}{f}\cdot\frac{1}{n}. \tag{46}$$

Давление воздуха в воздушных резервуарах пневматических поршневых аккумуляторов обычно берется в 10—15 и большей частью около 14 кг/см^2.

Диаметры плунжера и воздушного поршня могут быть взяты из табл. 91, составленной на основании американских данных [2].

Таблица 91

Диаметр плунжера и воздушного поршня пневматических поршневых аккумуляторов

Рабочий водяной объем м^3	Давление воды кг/см^2	Давление воздуха кг/см^2	Диаметр плунжера мм	Диаметр воздушного поршня мм	Ход плунжера мм
5,6	281	14	102	457	686
6,3	253	14	108	457	686
7,0	225	14	115	457	686
10,5	260	14	140	603	686
11,5	239	14	146	603	686
12,5	218	14	152	603	686
13,6	204	14	158	603	686
18,7	288	14	140	635	686
22,3	246	14	146	635	686
24,2	225	14	158	635	686
26,2	211	14	178	635	1219
30,4	295	14	178	813	1219
39,5	225	14	203	813	1219
61,9	249	14	254	1067	1219
68,5	225	14	267	1067	1219
121,3	127	14	356	1067	1219

[1] Hütte, инж. ч. II, 1936, стр. 586.
[2] М. В. Сторожев, НИИМАШ, № 8—9, 1932, стр. 392.

Остальные размеры (толщина стенок, манжеты и т. п.) рассчитываются, как обычно.

б) Пневматический беспоршневой аккумулятор. Давление воды в рабочем баллоне и воздуха в воздушном, т. е. p'' и p равны. Если полезный водяной объем обозначим через V, то объем воздушных резервуаров определится по формулам (45) и (46), приняв в них отношение $\frac{p''}{p}=1$. Тогда [на основе формулы (45)]

$$V''\geqslant V\cdot\frac{1}{\sqrt[w]{1+n}-1}, \tag{47}$$

если расширение примем по политропе, и на основе формулы (46)

$$V''\geqslant V\cdot\frac{1}{n}, \tag{48}$$

если расширение воздуха примем по изотерме. В последнем случае значения V'' получаются всегда меньшие. Перепад обычно допускается не больше 10% или величина n принимается равной $n=0{,}1$.

При $w=1{,}4$ и $n=0{,}1$ приведенные выше формулы (47) и (48) принимают простой вид, а именно:

а) если принять расширение воздуха по политропе,

$$V''=\frac{1}{\sqrt[w]{1{,}1}-1}\cdot V=\frac{1}{1{,}07-1}\cdot V=14{,}3\ V; \tag{47а}$$

б) если принять расширение воздуха по изотерме

$$V''=\frac{1}{0{,}1}V=10V. \tag{48а}$$

Пример. Рабочий объем водяной части пневматического беспоршневого аккумулятора $V_{раб}=7000\ л=7\ м^3$; давление воды 200—240 кг/см². Определить размеры водяного и воздушных баллонов с тем, чтобы перепад давления был не более 10%.

Примем наружный диаметр водяного баллона (см. табл. 23 и фиг. 181) $D_a=1570$ мм и $V=1{,}5$, $V_{раб}=10{,}5\ м^3$.

По формуле Ляме[1] находим внутренний диаметр баллона D_i, приняв допустимое напряжение на растяжение $R_z=1000$ кг/см² и $p_i=240$ кг/см²

$$D_a=D_i\sqrt{\frac{R_z+0{,}4p_i}{R_z-1{,}3p_i}}=D_i\sqrt{\frac{1000+0{,}4\cdot240}{1000-1{,}3\cdot240}}=D_i\sqrt{\frac{1096}{688}}=D_i\sqrt{1{,}59}=1{,}26\ D_i,$$

откуда

$$D_i=\frac{D_a}{1{,}26}=\frac{1570}{1{,}26}=1250\ мм,$$

или толщина стенки

$$s=\frac{1570-1250}{2}=160\ мм.$$

Ту же величину s можем получить по формуле[2]

$$s=\xi\cdot D_i=0{,}1311\cdot1250=164\ мм.$$

Сечение баллона $F_i=\frac{\pi D_i^2}{4}=\frac{\pi\cdot1{,}25^2}{4}=1{,}23\ м^2$.

[1] Все прессостроительные фирмы рассчитывают подверженные внутреннему давлению цилиндры на прочность по формуле Ляме. См. также книгу E. Müller, Hydraulische Schmiedepressen, 1939, S. 118—137.

[2] Hütte, инж. 1935, т. II, стр. 144, табл. 31; см. также табл. 98 и 99 в этой книге (стр. 333 и 334).

Объем нижней полусферы будет

$$V' = \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi D_i^3}{6} = \frac{3{,}14 \cdot 1{,}25^3}{12} = \frac{3{,}14 \cdot 1{,}95}{12} = \frac{6{,}1}{12} = 0{,}51 \text{ м}^3.$$

Отсюда длина водяного баллона внутри будет

$$L' = \frac{1{,}25}{2} + \frac{10{,}5 - 0{,}51}{1{,}23} = 0{,}625 + 8{,}13 = 8{,}76 \text{ м}.$$

Такой длины водяные баллоны в настоящее время не строят. Принимаем установку в два водяных баллона. Тогда внутренняя длина каждого из них будет

$$L_1 = \frac{L'}{2} = \frac{8{,}76}{2} = 4{,}38 \text{ м}$$

и наружная, приняв толщину донышек сферического в 160 мм и плоского в 240 мм, определится равной

$$L = 4380 + 160 + 240 = 4780 \text{ мм},$$

что очень близко к величине $b = 5600$ мм, указанной для этого аккумулятора в табл. 23, ибо разница 5600—4780 = 820 мм идет на закругление трубы вверху и горловину внизу.

Внутренний диаметр воздушных баллонов при наружном $D_a = 895$ мм будет

$$D_i = \frac{D_a}{1{,}26} = \frac{895}{1{,}26} = 710 \text{ мм} \quad \text{и} \quad s = \frac{895 - 710}{2} = 92{,}5 \text{ мм}.$$

Сечение баллона

$$F_i = \frac{\pi}{4} D_i^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 0{,}71^2 = 0{,}4 \text{ м}^2.$$

Общий объем воздушных баллонов должен быть по формуле (48а)

$$V'' = 10 V_{раб} = 70 \text{ м}^3.$$

Объем полусферы

$$V_{сф} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi D_i^3}{6} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}71^3}{12} = 0{,}36 \text{ м}^3.$$

При 28 баллонах в полусферах будет объем $0{,}36 \times 28 = 10$ м³.

Тогда цилиндрическая часть всех баллонов будет иметь объем $V_{цил.\ части} = 70 - 10 = 60$ м³, и внутренняя длина каждого будет

$$L' = \frac{60}{0{,}4 \cdot 28} = 5{,}4 \text{ м} = 5400 \text{ мм},$$

наружная же

$$L = 5400 + \frac{710}{2} + 92{,}5 + 140 = 5987{,}5 \text{ мм} \approx 5990 \text{ мм}.$$

Эта длина очень близка к длине 5900 мм, указанной в табл. 23.

Расчет общей необходимой производительности насосной установки, выбор производительности насосов и определение мощности их двигателей

Общая мощность насосной установки определяется, как об этом уже говорилось в § 6 главы II и в настоящей главе, по среднему необходимому минутному расходу воды всеми прессами, исходя из принятого максимального количества прессований в час, добавляя сюда определенный процент (10—25%) [1] на возможную утечку воды (в соединениях трубопровода, фланцах насосов, предохранительных устройствах, автоматических клапанах управления аккумуляторной и насосной установкой и т. д.).

[1] Hütte, инж., 1935, т. II, стр. 856.

В этом случае также необходим, по возможности, точный учет индивидуальных особенностей данной установки, как и при определении объема аккумулятора. В зависимости от того, для прессования какого сплава или металла, каких изделий предназначается данная установка, каких размеров слиток, число прессовок в час будет совершенно различно; равным образом от того, на какое гидравлическое давление рассчитывается данная установка, объем расходуемой воды на прессование и в единицу времени будет разный и т. д. Поэтому установка, совершенно даже одинаковая по мощности и количеству прессов, по давлению воды и пр., но если она предназначена для прессования изделий из различных металлов и сплавов, например меди и ее сплавов, из электрона или дуралюмина, будет требовать совершенно различного объема аккумулятора, разных по количеству и производительности насосов, следовательно, необходим тщательный расчет всей установки в целом. Сказанное подтверждается приведенными ниже двумя примерами.

Если бы при определении общей производительности насосов указанной в табл. 80 установки в 8 прессов мы приняли во внимание возможность совпадения в некоторые моменты работы всех прессов, то очевидно, что мы были бы принуждены, согласно табл. 83, 84 и 85, таковую определить по секундному максимальному расходу воды каждым прессом. Это дало бы общую производительность насосов:

для одного	3000-т	пресса	(по 5-й операции)	. . . . .	125 л/сек
» »	1500-т	»	» »	. . . . .	76 »
» трех	600-т	»	(по 3-й операции)	. . . . $36 \times 3 = 108$	»
» »	300-т	»	» »	. . . . $22{,}5 \times 3 = 67{,}5$	»
				Итого	376,5 л/сек

(или $376{,}5 \times 60 = 22\,590$ л/мин).

Это была бы грандиознейшая насосная установка с очень малым коэфициентом полезного действия, так как большую часть рабочего времени она была бы почти совершенно не использована. Между тем при наличии аккумулятора возможно обойтись насосной установкой, имеющей общую производительность (см. стр. 292) всего 2660 л/мин и состоящей из четырех насосов плюс один резервный, производительностью по 665 л/мин. Совершенно понятно, что такая установка будет постоянно хорошо использоваться, даст довольно равномерную нагрузку на подстанции цеха, кабельную сеть и питающую завод электростанцию.

Для прессовой установки, приведенной в табл. 78 и состоящей из 8 прессов большой мощности, могущих дать указанное в таблице число прессований в час, общий полезный расход воды в час определен в 125 300 л или в минуту $\frac{125300}{60} = 2089$ л/мин. Прибавляя на возможную утечку и вспомогательные операции процентов 15—20, определяем общую желаемую производительность около 2400—2500 л/мин. Очевидно, что следовало бы и в этом случае установить, как и выше, четыре насоса той же производительности плюс один резервный, которые обеспечивали бы общую подачу воды в $665 \times 4 = 2660$ л/мин.

Сопоставление результатов приведенных выше двух примеров прессовых установок, значительно разнящихся по мощности прессов, с несомненностью показывает, что руководствоваться при определении количества и производительности насосов примерами существующих

установок совершенно нельзя. Необходим, по возможности, точный расчет емкости аккумулятора и количества и необходимой производительности насосов с учетом всех индивидуальных моментов (размеры слитков, число прессований в час и пр.) данной прессовой установки в целом. Без подсчетов всегда могут быть случаи, как и приведенный выше в отношении объема аккумулятора, когда одна фирма предложила для прессовой установки аккумулятор емкостью в 4000, другая в 5000 и третья в 5500 л. То же повторилось и в отношении насосов. Одна фирма для такой установки предложила три насоса производительностью по 665 л, т. е. с общей производительностью $665 \times 3 = 1995$ л/мин, другая — 5 насосов по 500 л/мин, т. е. общей производительностью 2500 л/мин, а третья — 4 насоса по 750 л/мин, т. е. общей производительностью 3000 л/мин.

При выборе числа и производительности насосов нужно также иметь в виду, что общая их производительность должна быть такова, чтобы рабочий объем аккумулятора наполнялся в течение не менее 20—30 сек. Это обеспечит возможность выключить вручную насосы или аккумулятор в случае отказа в работе управляющих установкой автоматов или предохранительных клапанов. С другой стороны, их минимальная производительность не должна быть менее

$$\frac{V_{раб.\,аккум}}{90—120}\ \text{л/сек},$$

т. е. чтобы наполнение рабочего объема аккумулятора продолжалось не более 1½—2 минут.

В нашем случае рабочий объем аккумулятора — 2300 л, производительность насосной установки 2660 л/сек. Следовательно, аккумулятор будет наполняться в течение времени:

$$\tau = \frac{2300}{2660} = 0{,}86 \text{ мин.} = 51{,}6 \text{ сек.},$$

что вполне удовлетворяет указанному выше требованию.

Потребная для насоса мощность двигателя рассчитывается по формуле

$$N = \frac{Q\,H \cdot \gamma}{75 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2}\ \text{л. с. или}\ N = \frac{Q \cdot H \cdot \gamma}{102 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2}\ \text{квт}, \tag{49}$$

где Q — производительность насоса в м³/сек;

H — высота напора в м вод. ст.;

γ — вес 1 м³ жидкости (у нас γ — 1000 кг/м³);

η_1 — к. п. д. привода (в среднем около 0,92);

η_2 — к. п. д. насоса (в среднем около 0,87).

Общий к. п. д. $\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 = 0{,}92 \cdot 0{,}87 = 0{,}8$; при запущенном состоянии может доходить до $\eta = 0{,}7$.

Устанавливаемая мощность мотора

$$N_{мот} \approx (1{,}1 \div 1{,}4, \text{ в среднем } 1{,}2)\, N. \tag{50}$$

Пример. Определить мощность двигателя к трехплунжерному насосу производительностью 665 л/мин при давлении воды в 200—220 кг/см².

$$Q = 665 \text{ л/мин} = \frac{665}{60} = 11{,}1 \text{ л/сек} \approx 0{,}0111 \text{ м}^3\text{/сек};$$

$$H = 2200 \text{ м вод. ст.}$$

Отсюда потребная мощность

$$N = \frac{0{,}0111 \cdot 2200 \cdot 1000}{102 \cdot 0{,}8} = 300 \text{ квт}$$

и устанавливаемая мощность

$$N_{мот} = (1{,}1 — 1{,}4)\ 300 = 330 — 420 \text{ квт}.$$

Расчет объема виндкесселя при прессе

В заключение этого раздела, посвященного вопросу расчета аккумуляторных установок, остановимся на определении объема виндкесселя. Е. Мюллер[1] для кузнечных прессов, т. е. прессов типа вертикальных трубных, определяет объем виндкесселя по формуле

$$V_{раб} = f \cdot H, \tag{51}$$

где $V_{раб}$ — рабочий объем виндкесселя; f — площадь плунжера пресса; H — ход плунжера.

Полный объем виндкесселя

$$V = 4V_{раб}. \tag{52}$$

Пример 1. Пресс имеет диаметр плунжера $D = 880$ мм и его ход 1400 мм. Рабочий объем виндкесселя

$$V_{раб} = \frac{\pi D^2}{4} \cdot H = \frac{3{,}14 \cdot 8{,}8^2 \cdot 14}{4} = 60{,}82 \cdot 14 = 851{,}48 \text{ л}.$$

Полный объем виндкесселя $V \approx 4 \cdot 851{,}48 \approx 3400$ л, который разделяется так: один объем ниже нижнего уровня до донышка, один рабочий объем от нижнего уровня воды до верхнего и два объема от верхнего уровня до верхнего донышка. Таким образом объем воздуха в виндкесселе равен половине всего его объема. Это обеспечивает в нем колебания давления, определяемые при расширении воздуха по изотерме следующим образом.

При расширении по изотерме $pV = \text{const}$. Поэтому можно написать равенство

$$p_1 V_1 = p_2 V_2,$$

где p_1 — давление воздуха и воды при высшем положении уровня; V_1 — занимаемый при этом объем воздуха; p_2 — давление при понижении уровня до нижнего предела; V_2 — объем воздуха после его расширения.

Так как V_1 принято равным $2V_{раб}$ и $V_2 = 3V_{раб}$,

то

$$p_2 = \frac{V_1}{V_2} \cdot p_1 = \frac{2}{3} p_1.$$

Выше было указано, что среднее давление воды в виндкесселе горизонтальных прессов принимается в 15—20 кг/см² и вертикальных 5—8 кг/см². Таким образом, если высшее давление для вертикального пресса примем равным $p_1 = 6$ кг/см², то низшее будет равно

$$p_2 = \frac{2}{3} \cdot 6 = 4 \text{ кг/см}^2.$$

Пример 2. Для 300-т вертикального пресса по этому методу объем виндкесселя определяется следующим образом.

По фиг. 185 диаметр плунжера этого пресса

$$D_{пл} = 450 \text{ мм и ход } H = 680 \text{ мм};$$

отсюда

$$V_{раб} = \frac{\pi}{4} 4{,}5^2 \cdot 68 = 15{,}90 \cdot 6{,}8 = 108 \text{ дм}^3.$$

Полный объем будет $V = 108 \cdot 4 = 438$ дм³.

Если примем внутренний его диаметр $D_1 = 600$ мм или сечение $F = 28{,}27$ дм², то рабочая его высота будет

$$H = \frac{438}{28{,}27} = 15{,}5 \text{ дм} = 1550 \text{ мм}.$$

На чертеже фиг. 185 такой виндкессель фирмы «Гидравлик» имеет длину от донышка до донышка 2200 мм, т. е. в $\frac{2200}{1550} = 1{,}4$ раза длиннее, и соотношения в его частях, занятых водой и воздухом, несколько другие. Так, если принять высоту рабочего объема за единицу, то объем воды внизу равен 1,6 и воздуха

[1] E. Müller, Hydraulische Schmiedepressen, 1939.

вверху, 3, т. е. общая длина получается равной не 4, а 5,5 единицы, что обеспечивает колебания значительно меньшие, а именно дает

$$p_2 = \frac{V_1}{V_2} \cdot p_1 = \frac{3V_{раб}}{4V_{раб}} p_1 = \frac{3}{4} p_1,$$

значит, если примем

$$p_1 = 6 \text{ кг/см}^2, \text{ то } p_2 = \frac{3 \cdot 6}{4} = 4{,}5 \text{ кг/см}^2.$$

Такие колебания давлений более приемлемы. Поэтому далее предложен несколько другой расчет и рабочего объема и всего объема виндкесселя, построенный на той же базе точного расчета и учета всех имеющихся в данном случае условий, которая была принята и при расчете объема водяной части аккумулятора.

Принимая во внимание максимальный расход воды той или другой частью пресса, можно на основе таблиц типа приведенных выше (табл. 83, 84, 85), правильно рассчитать не только объем аккумулятора и сечения трубопроводов как от аккумулятора до дистрибуторов того или другого пресса, так и от дистрибуторов до виндкесселя и от них до соответствующих цилиндров (о расчете трубопроводов будет сказано далее в § 10), но и рабочий объем виндкесселя. Покажем это на примере.

Пример. Пусть требуется определить размеры виндкесселя 300-т вертикального пресса, характеристика работы которого дана выше, в табл. 85. Из этой таблицы следует, что максимальный расход воды низкого давления требуется на операцию 2 (холостой ход и прошивка) в количестве 84 л и на операцию 6 (отрезка трубы) — 60 л. После второй операции непосредственно следует обратный ход, когда вода из главного цилиндра также поступает в виндкессель. То же после операции 6. Таким образом определяющей размеры виндкесселя операцией является вторая, во время которой из виндкесселя выдается воды 84 л.

Добавив к указанной величине около 25% на запас, получаем, что рабочий объем виндкесселя этого пресса должен быть около

$$V_{раб} = 84 \cdot 1{,}25 \approx 105 \text{ л}.$$

Выше на чертеже фиг. 185, стр. 165 этой книги изображен виндкессель 300-т пресса. Как видно на фигуре, объем воды в нем от нижнего уровня до верхнего имеет диаметр $D_i = 600$ мм и высоту $h = 400$ мм, что определяет его объем.

$$V'_{раб} = \frac{\pi}{4} \cdot D_i^2 h = \frac{\pi}{4} \cdot 6^2 \cdot 4 = 28{,}27 \cdot 4 = 113 \text{ л}.$$

При расчете объема виндкесселя горизонтальных прессов нужно иметь в виду, что у современных прессов вода низкого давления расходуется на холостые ходы вперед не только главного плунжера, но и плунжера иглы, причем оба эти хода выполняются одновременно. Диаметр виндкесселя определяется с таким расчетом, чтобы при выдаче из него воды в эти цилиндры уровень воды от верхнего предела до нижнего падал вниз примерно на ¾ длины водомерного стекла. Обычно длина эта равна около 600—1000 мм. Исходя из этой длины и зная объем вытесняемой из цилиндра (или цилиндров) воды, можно легко определить размеры виндкесселя.

Труба, по которой вода подается из виндкесселя к автоматическому клапану цилиндра (или цилиндров), опускается ниже нижнего уровня на глубину, примерно

$$h_1 = 0{,}7\,h.$$

Расстояние от конца этой трубы до дна резервуара принимается около $h_2 = (0{,}80 - 0{,}85)\,h$.

От верхнего уровня воды до верхнего донышка резервуара расстояние h_3 делается равным $3h$.

Таким образом общая высота виндкесселя будет равна

$$H = (1 + 0{,}7 + 0{,}8 + 3)h = 5{,}5h. \qquad (53)$$

8. ПЛАН ЦЕХА, РАСПОЛОЖЕНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ

Определив мощность всего оборудования и его количество, приступаем к составлению плана цеха.

Прессовый цех получает массу слитков из литейных цехов, быстро их перерабатывает и отдает полуфабрикат для дальнейшей обработки протяжным и прокатным цехам. Естественно, он должен быть расположен на заводской площадке и увязан с литейным, трубным, прутковым, проволочным и прокатным цехами так, чтобы транспорт продукции не был затруднен.

То же необходимо сказать и о размещении оборудования в самом цехе. Его следует расположить так, чтобы металл не возвращался, чтобы не было встречных и перекрестных в цехе перевозок, чтобы расстояния между отдельными агрегатами были безопасны для проходов и достаточны для временного хранения или передвижения находящихся в процессе производства полуфабрикатов и готовых изделий. Достигнуть такого идеального решения задачи не всегда, однако, удается, ибо при этом мощные агрегаты могут оказаться недостаточно загруженными, площади здания неполностью использованными или размеры здания могут не позволить поставить нужное оборудование в определенном месте и т. п.

В таких случаях приходится несколько нарушать прямоточность движения грузового потока, переходить на кольцевой поток или решать задачу другими методами, но при этом следует все время иметь в виду желательность максимального соблюдения прямолинейности потока, как наиболее рационального в отношении производства и дешевого в отношении транспорта.

Работу эту рекомендуем вести так. Габариты всего оборудования вычерчивают на плотной бумаге в масштабе $\frac{1}{100}$ и тщательно кругом обрезают. На примерно нанесенном плане здания располагают габариты оборудования в порядке технологического процесса с учетом определенной загруженности того или другого агрегата. Эти карточки с габаритами укрепляют на определенных местах.

При размещении всего оборудования на плане габариты обводят карандашом и снимают с полученного чертежа. В это время, конечно, может возникнуть другой вариант, как будто более удачный. Указанным методом выполняют второй вариант, а быть может, и третий и, наконец, выбирают наиболее удачный. По этому плану и составляют уже окончательный проект. На нем наносят все оси, дают главные расстояния между ними, наносят схему трубопроводов, электроканализации и тому подобные детали проекта, дают пролеты здания, указывают положение колонн, пунктиром указывают условным обозначением краны, указывают положение окон, дверей, ворот для входа вагонов или электрокар, расположение конторок, складов и всех вспомогательных, подсобных, общественных и бытовых помещений цеха. Размеры подсобных, общественных и бытовых помещений цеха берут на основе утвержденных для этого единых строительных норм.

На поперечных разрезах, выполняемых обычно в масштабе вдвое большем, чем план, показывают наиболее высокое оборудование, лимитирующее расстояние крана от уровня пола и до стропильных ферм, а также систему перекрытия, устройство бокового освещения внизу и вверху, а равно верхнего освещения, и дается необходимое количество основных по высоте размеров оборудования и здания.

Обычно масштаб чертежей принимается следующий:

	Масштаб	
	основной	допускается
1. Выкопировка из генерального плана завода с показанием на нем расположения проектируемого цеха . . .	1:1000	1:1500—1:2000
2. План здания с показанием размещения его колонн, окон, дверей и пр. и основного оборудования цеха .	1:100	1:50—1:200
3. Разрез здания с показанием наиболее высокого оборудования, устанавливающего высоту здания, и схематическим изображением подъемных кранов	1:50	1:100
4. Конструктивные чертежи	1:20	1:10—1:25

Координация элементов здания на чертеже обозначается при помощи сетки осей здания, причем вертикальные ординаты нумеруются обычно арабскими цифрами, а горизонтальные обозначаются буквами русского алфавита.

Ориентация здания по странам света указывается на выкопировке из генплана, а в случае отсутствия генплана — на плане здания. Проектируемое здание на генплане выделяется при помощи штриховки его площади.

К разрезу здания и плану его кроме того относится целый ряд требований строительного характера, не связанных с технологией, которые здесь не приводятся.

9. ГРУЗОВОЙ ПОТОК

При размещении на плане оборудования цеха необходимо, как было уже сказано, все время стремиться к прямолинейности грузового потока. Чтобы не загромождать основного плана, лучше всего грузовой поток наносить на отдельном, для облегчения работы схематично составленном плане цеха с указанием на нем только внешних контуров оборудования, без подробной разработки здания, без нанесения на плане трубопроводов, аккумуляторной и прочих деталей установки. Наиболее целесообразно наносить грузовой поток массы металла, проходящей в данном месте, в определенном масштабе процентов. Приняв количество поступающего в цех металла в виде слитков за 100% и отделяя в соответствующих местах все отходы в виде прессостатков, обрезков концов, стружки и пр., в конце цеха получим полосу, ширина которой в процентах показывает средний выход годного. Построение грузового потока служит контролем правильности размещения оборудования.

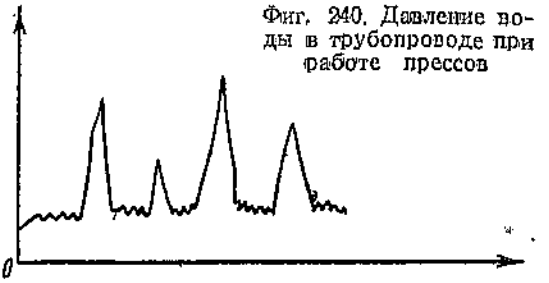
Для наглядности хорошо представить с соответствующей окраской поток поступающих в цех слитков, выходящей с прессов заготовки, отходов, отделяемых на ножницах, пилах и других станках, и, наконец, выдаваемой цехом годной продукции.

Если в цехе разрабатывается несколько сплавов, резко разнящихся по технологии обработки, то следует, если возможно, поток разделить и эти отдельные потоки окрашивать в различные цвета.

10. ОСНОВЫ РАСЧЕТА ТРУБОПРОВОДОВ ГИДРОПРЕССОВЫХ УСТАНОВОК[1]

Общие соображения. При жидкости, находящейся в покое, или при установившемся равномерном движении передача давлений происходит по закону Паскаля.

Но при условиях работы гидропрессовых установок высокого давления, при малых диаметрах труб и мощных прессах, а отсюда больших скоростях жидкости, в действительности никогда такого равномерно установившегося движения и постоянного давления жидкости не бывает. Опыты при помощи точных малоинерционных индикаторных приборов (манометров) показывают наличие постоянных колебаний давления в сети, превосходящего иногда в 2—3 раза нормальное статическое (фиг. 240). Причины этого и меры для возможного уменьшения таких пик были указаны в § 9 главы II.



Фиг. 240. Давление воды в трубопроводе при работе прессов

Для правильного расчета трубопровода величина этих пик должна быть нам известна возможно точно.

На величину этих колебаний оказывают влияние следующие факторы:

1) живая сила грузового аккумулятора при подъеме и опускании грузов;

2) живая сила при движении жидкости в трубопроводе и влияние остановки части или всех прессов;

3) неравномерная (толчками) подача воды насосами;

4) сопротивление трубопровода и пусковой аппаратуры движению жидкости.

Расчет сечений трубопроводов

Прежде чем приступить к расчету повышения давления в трубопроводе, при опускании груза грузового аккумулятора, от живой силы жидкости в трубопроводе при остановке прессов и неравномерной подачи жидкости насосами и, наоборот, величины понижения давления от сопротивления движению жидкости самого трубопровода, клапанов и пр., мы должны знать длины и сечения трубопровода, а также устанавливаемую аппаратуру на каждом его участке. Работа и расчет ведутся по следующему плану.

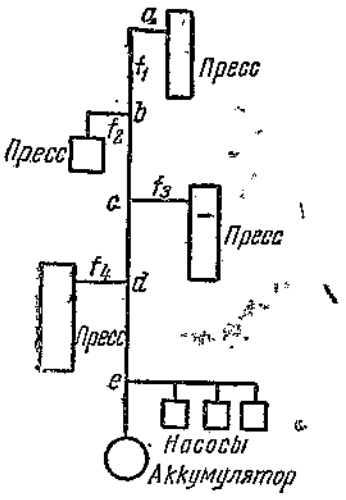
Прежде всего составляется схематический чертеж расположения трубопровода в цехе с учетом всего сказанного ранее, т. е. избегая крутых поворотов и резких переходов в сечениях труб. Трубопроводы проектируют тупиковыми, допуская на таком тупике установку небольшого количества прессов. При необходимости проложить несколько труб распределяют их нагрузку на каждом трубопроводе по возможности равномерно в отношении расхода воды, располагая их симметрично относительно аккумулятора и вообще принимая все меры к обеспечению возможно спокойной и надежной работы сети.

Проложив таким образом ориентировочно трассу трубопровода с указанием необходимой аппаратуры, определяем далее и отмечаем на чертеже длину каждого его участка (на фиг. 241 участки *a*—*b*, *b*—*c*, *c*—*d* и т. д.) и ответвления от него к каждому прессу и к

[1] М. В. Костогаров, Гидропрессовые установки, 1936.

СССР имени ЛЕНИНА

насосам и, задавшись скоростью движения жидкости, определяем сечения каждого ответвления и каждого участка трубопровода; затем по каталогу труб подбираем наиболее нам подходящие для них сечения и диаметры, и, наконец, производим расчет указанных выше изменений давления при работе установки. Вопрос о выборе скоростей движения жидкости и определения сечений и диаметров труб решается следующим образом.



Фиг. 241. Схема трубопровода

Скорость истечения воды в атмосферу определяется, как известно, по формуле $v = \sqrt{2gH}$, где H — высота напора в м вод. ст. При давлении воды в сети в 200 кг/см² или 2000 м скорость истечения была бы равна

$$v' = \sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot 2000} \approx \sqrt{40\,000} \approx 200 \text{ м/сек.}$$

Уже такая скорость совершенно недопустима, а ведь современные установки делаются на давление до 300 кг/см². Поэтому на практике берут скорость не более

$$v = 0{,}1\ v' = 0{,}1 \cdot 200 = 20 \text{ м/сек;}$$

нормально принимают $v = 15$—20 м/сек и допускают до 25 м/сек. Пользуясь этой величиной, зная расходование воды каким-либо органом пресса и выбрав максимальное из них, можно просто определить сечения и диаметры труб, подводящих воду от дистрибуторов к соответствующим цилиндрам, к винджесселю и от него к автоматическим наполнительным клапанам пресса у главного цилиндра и цилиндра иглы (если он имеется у него для ведения холостого хода плунжера этого пресса водой низкого давления), а равно от насосов и аккумулятора до главного дистрибутора.

На практике этот расчет еще более упрощают. Пусть имеем установку из одного пресса. Максимальная рабочая скорость движения плунжера при прессовании меди и латуни, как то видно из табл. 81, в зависимости от мощности пресса доходит до $v'_{max} = 1{,}5$ дм/сек $= 0{,}15$ м/сек. При прессовании легких сплавов эта скорость может быть не более $v''_{max} = 1{,}0$ дм/сек, или не более 0,1 м/сек.

Для непрерывности струи жидкости должно существовать равенство

$$\frac{\pi d^2}{4} \cdot v = \frac{\pi D^2}{4} \cdot v_{max\ пл}, \tag{54}$$

где d — диаметр трубопровода;

D — диаметр плунжера;

v — скорость жидкости в трубопроводе;

$v_{max\ пл}$ — скорость плунжера.

Подставляя в формулу (54) значение $v = 15$ м/сек и v_{max} для латуни 0,15 и легких 0,10 м/сек, получаем:

для меди и ее сплавов

$$d = D\sqrt{\frac{0{,}15}{15}} = D\sqrt{0{,}01} = 0{,}1\,D, \tag{55}$$

для легких сплавов

$$d = D\sqrt{\frac{0{,}10}{15}} = D\sqrt{0{,}0066} = 0{,}08\,D, \tag{56}$$

причем эти соотношения не зависят от давления воды.

Если установка будет состоять из нескольких прессов (фиг. 241), то такой же расчет ведется для всех отводов от магистрали к дистрибуторам и определяются сечения их f_1, f_2, f_3, f_4. Сечение на участке от a до b берется равным f_1; от b до c равным f_1+f_2; от c до d равным $f_1+f_2+f_3$; от d до c — равным $f_1+f_2+f_3+f_4$ и т. д.

Определив таким образом ориентировочно длины и сечения участков трубопровода, расчет далее ведется, как указано в последующем изложении.

Живая сила грузового аккумулятора и изменение давления жидкости в трубопроводе при подъеме и опускании груза аккумулятора

Выше при расчете грузового аккумулятора [формулы (34) и (35)] были определены значения p_1 и p_2:

$$p_1=\frac{G}{f}\cdot\frac{1-\mu'\beta}{1+4\mu\gamma}$$

и

$$p_2=\frac{G}{f}\cdot\frac{1+\mu'\beta}{1-4\mu\gamma}.$$

Из этих данных можно было бы сделать заключение, будто $p_1<p_2$. В действительности, как это там указано, это не так. Наоборот, $p_2>p_1$. Конечно, это относится только к грузовому аккумулятору, ибо у пневматических аккумуляторов нагрузка более статическая и там действительно $p_1<p_2$. Обозначим: p — рабочее давление воды в аккумуляторе, кг/см²; f — площадь штока аккумулятора, см²; G — рабочий вес груза аккумулятора, кг; m — масса груза аккумулятора; g — ускорение силы тяжести, равное 9,81 м/сек²; V_1 — расход рабочей воды на прессование при работе всех прессов, л/сек; v_1 — скорость опускания при этом штока аккумулятора, м/сек; S_1 — живая сила груза аккумулятора при опускании, кгм; V_2 — расход рабочей воды после остановки части прессов, л/сек; v_2 — скорость опускания штока после остановки прессов, м/сек; S_2 — живая сила груза аккумулятора после остановки части прессов, кгм.

Тогда

$$S_1=\frac{mv_1^2}{2}$$

и

$$S_2=\frac{mv_2^2}{2}.$$

Потеря живой силы при остановке части прессов

$$S_1-S_2=\frac{m}{2}\left(v_1^2-v_2^2\right).$$

Так как

$$m=\frac{G}{g},\ \text{а}\ G\approx pf\ \text{и}\ \frac{10fv_1}{10^2}=V_1\ \text{или}\ fv_1=10V_1\ \text{и}\ fv_2=10V_2,\ \text{то}\ v_1^2=\frac{10^2V_1^2}{f^2}\ \text{и}$$

$$v_2^2=\frac{10^2V_2^2}{f^2}.$$

Вместе с тем

$$f^2=\frac{G^2}{p^2}.$$

Подставив эту величину вместо f^2, находим, что

$$S_1 - S_2 = \frac{m}{2}\left(v_1^2 - v_2^2\right) = \frac{G}{2g} \cdot \frac{10^2}{f^2}\left(V_1^2 - V_2^2\right) = \frac{G}{2g} \cdot \frac{10^2 p^2}{G^2} \cdot \left(V_1^2 - V_2^2\right) =$$

$$= 5{,}097 \cdot \frac{p^2}{G}\left(V_1^2 - V_2^2\right).$$

Итак

$$S_1 - S_2 = 5{,}097 \cdot \frac{p^2}{G}\left(V_1^2 - V_2^2\right). \qquad (57)$$

Разность S_1—S_2 будет иметь maximum, если S_2=0, т. е. когда все пресса одновременно остановятся. Тогда V_2=0 и v_2=0.

Живая сила S_1—S_2 поглощается упругой деформацией всей системы (цилиндр аккумулятора, трубопровод, цилиндры прессов, вода в трубопроводе и пр.), иначе была бы поломка системы. Предохранительные клапаны также служат для этой цели. Обозначим: φ_1 — упругость системы, т. е. увеличение объема системы при изменении давления на 1 кг/см² в см³; q_1 — конечное увеличение давления воды, кг/см²; $\frac{1}{2}q_1$ — среднее увеличение давления воды, кг/см²; h — высота опускания штока аккумулятора, м.

Тогда среднее увеличение давления на площадь штока будет

$$\frac{1}{2}\, q_1 \cdot f = \frac{q_1 f}{2} \text{ кг}.$$

При изменении давления на 1 кг/см² и при упругости системы φ_1 шток аккумулятора опустится, естественно, на $\frac{\varphi_1}{f}$ см, а при увеличении давления на q_1, кг/см² шток опустится на высоту

$$h = \frac{q_1 \varphi_1}{100 f} \text{ м}.$$

Работа опускания подвижных частей аккумулятора или равная ей работа упругой деформации системы будет:

$$A_1 = \frac{q_1 f}{2} \cdot h = \frac{q_1 f}{2} \cdot \frac{q_1 \varphi_1}{100 f} = \frac{1}{200}\varphi_1 q_1^2 = 0{,}005\, \varphi_1 q_1^2 \text{ кг·м}.$$

Совершенно понятно, что должно существовать равенство

$$S_1 - S_2 = 0{,}005\, \varphi_1\, q_1^2.$$

Отсюда

$$q_1 = 14{,}14 \sqrt{\frac{S_1 - S_2}{\varphi_1}} = 14{,}14 \sqrt{\frac{5{,}097\, p^2}{G\varphi_1}\left(V_1^2 - V_2^2\right)} =$$

$$= 14{,}14 \sqrt{\frac{5{,}097\, p^2}{pf\varphi_1}\left(V_1^2 - V_2^2\right)} = 31{,}93 \sqrt{\frac{p}{f}} \sqrt{\frac{V_1^2 - V_2^2}{\varphi_1}}.$$

Итак, величина повышения давления в сети от действия первого фактора определяется по формуле

$$q_1 = 31{,}93 \sqrt{\frac{p}{f}} \cdot \sqrt{\frac{V_1^2 - V_2^2}{\varphi_1}}. \qquad (58)$$

Упругость системы φ_1 может быть определена следующим образом. Цилиндры прессов, аккумулятора, трубопровод — это все цилиндры. Поэтому определение величины φ_1 может быть сделано по одной и той же формуле. Если обозначим r_a — наружный радиус какого-либо из этих цилиндров; r_i — внутренний радиус того же цилиндра;

l — длину цилиндра; p_i — внутреннее давление с учетом его повышения; R и E — механические свойства материала трубопровода, то по формуле Лямé имеем

$$r_a = r_i \sqrt{\frac{R_z + 0{,}4\ p_i}{R_z - 1{,}3\ p_i}}\ *.$$

Отсюда при $p_i = 1$ будем иметь:

$$r_a = r_i \sqrt{\frac{R_{z_1} + 0{,}4}{R_{z_1} - 1{,}3}},$$

и

$$R_{z_1} = \frac{1{,}3\ r_a^2 + 0{,}4\ r_i^2}{r_a^2 - r_i^2} \qquad (59)$$

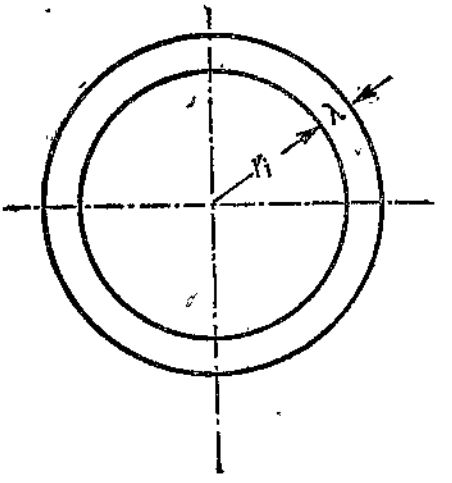
и увеличение радиуса цилиндра r_i (см. фиг. 242) будет

$$\lambda = R_{z_1} \frac{r_i}{E}.$$

Тогда увеличение объема цилиндра будет

$$m = 2\pi r_i \cdot \lambda \cdot l = 2\pi r_i \frac{r_i}{E} \cdot l \cdot R_{z_1} = 2\pi r_i^2 l \cdot \frac{R_{z_1}}{E},$$

$$m = 2\pi r_i^2 l \cdot \frac{R_{z_1}}{E}. \qquad (60)$$



Фиг. 242

По этой формуле можно определить упругую деформацию всякой части установки при увеличении давления в сети на 1 кг/см².

Сжатие воды (по Хвольсону) при 30° и давлении в 1 кг/см² равно 0,000044, т. е. 1 м³ сжимается на 44 см³. Это величина довольно большая.

Компенсаторами служат также включенные в сеть баллоны, наполняемые на ⅔ водой (дальше воздух), и предохранительные клапаны.

Выводы

1. На основе формулы (57)

$$S_1 - S_2 = 5{,}097 \frac{p^2}{G}\left(V_1^2 - V_2^2\right)$$

живая сила аккумулятора пропорциональна p^2V^2, т. е. безразлично, сделаем ли мы аккумулятор с большим p и малым V или наоборот.

2. На основе формулы (58) q_1 также от этого не изменится.

3. Однако выгодно повышать p, ибо q_1 пропорционально $\sqrt{p}$ и $\sqrt{V^2}$, т. е. изменение давления будет в процентном отношении от p меньшим; давление будет более равномерным и трубопровод можно рассчитывать более уверенно с меньшим запасом прочности.

4. Живая сила аккумулятора будет при одинаковых p и V меньше с увеличением f, так как этим уменьшается h и стоимость здания, но стоимость установки несколько возрастает.

5. Увеличение давления обратно пропорционально корню квадратному из упругости системы, т. е. особо преувеличивать толщину

* Hütte, инж., т. II, 1935, стр. 143, формула (13).

стенок цилиндров и труб не следует. Трубы, цилиндры и пр. должны «дышать», не теряя прочности, и этим компенсировать пиковое возрастание давления.

6. q_1 увеличивается медленнее количества останавливаемых прессов.

Для суждения о порядке величины изменения давления приводим пример из книги М. В. Костогарова.

Пример. Установка из семи прессов обслуживается тремя насосами по 230 л/мин и аккумулятором. Характеристика установки дана ниже.

Аккумулятор: цилиндры диаметром $D = 580 \times 410$ мм, $p_1 = 225$ кг/см², длина $l = 7150$ мм.

Шток: $d = 360$ мм, $f = 1017{,}6$ см², $h = 7000$ мм, скорость плунжера — рабочий ход 0,1 м/сек, обратный ход $\sim 0{,}3$ м/сек.

Груз: $G = p_1 \cdot f = 225 \cdot 1017{,}6 = 229\,028$ кг.

Общий объем трубопроводов $V' = 534{,}6$ см³; объем воды в прессе $V'' = 298{,}5$ л; продолжительность прессования $\tau' = 5{,}5$ сек.; продолжительность полного цикла $T = 50$ сек. Расход воды на одно прессование 16,25 л/сек.

Подача воды аккумулятором при работе всех семи прессов должна быть

$$16{,}26 \cdot 7 - \frac{230 \cdot 3}{60} = 113{,}82 - 11{,}5 = 102{,}32 \text{ л/сек}$$

и максимальная живая сила аккумулятора при $V_2 = 0$ и $S_2 = 0$ будет

$$S_1 = 5{,}097 \cdot \frac{p^2}{G} \cdot V_1^2 = 5{,}097 \cdot \frac{225^2}{229028} \cdot 102{,}32^2 = 11795{,}3 \text{ кгм}.$$

Для определения увеличения давления по формуле $q_1 = 14{,}14 \sqrt{\frac{S_1 - S_2}{\varphi_1}}$ нам нужно знать упругость системы. Определяем ее для каждой части установки.

Цилиндр аккумулятора. Диаметр 580×410 мм и длина 7150 мм

$2\,r_i = 41$ см.
$2\,r_a = 58$ »
$l = 715$ »

Напряжение в материале R_{z_1} при $q_1 = 1$ кг/см² будет равно

$$R_{z_1} = \frac{1{,}3\,r_a^2 + 0{,}4\,r_i^2}{r_a^2 - r_i^2} = \frac{1{,}3 \cdot 29^2 + 0{,}4 \cdot 20{,}5^2}{29^2 - 20{,}5^2} = 3 \text{ кг/см}^2.$$

Соответствующее увеличение объема цилиндра по формуле (60) будет

$$m = 2\pi r_i^2 \cdot l \cdot \frac{R_{z_1}}{E} = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 20{,}5^2 \cdot 715 \cdot \frac{3}{2150000} = 2{,}63 \text{ см}^2.$$

Объем воды в аккумуляторе сжимается максимум на

$$\frac{3{,}14 \cdot 41^2}{4} \cdot 715 \cdot 0{,}000044 = 943\,800 \cdot 0{,}000044 = 41{,}53 \text{ см}^3.$$

Минимальный объем воды в аккумуляторе, что особенно невыгодно для упругости системы, будет 214 400 см³ и его сжатие при $q_1 = 1$ кг/см² будет равно

$$214\,400 \cdot 0{,}000044 = 9{,}43 \text{ см}^3.$$

Таким образом общая упругость аккумулятора будет

$$\varphi_1' = 2{,}63 + 9{,}43 = 12{,}06 \text{ см}^3.$$

Трубопровод. Общий объем трубопровода 534,6 см³. Подсчитанная подобно предыдущему по отдельным участкам упругость трубопровода и воды в нем равна

$$\varphi_1'' = 25{,}4092 \text{ см}^3.$$

Цилиндры прессов. Объем воды в прессе 298 500 см³. Сжатие этой воды будет

$$\varphi_1'''_{воды} = 298\,500 \cdot 0{,}000044 = 13{,}1340 \text{ см}^3 \text{ при } q_1 = 1 \text{ кг/см}^2.$$

Пусть вычисленное нами подобно предыдущему расширение пресса будет равно

$$\varphi'''_{1\ пресса} = 1{,}3 \text{ см}^3 \text{ при } q_1 = 1 \text{ кг/см}^2.$$

Отсюда $\varphi_1''' = 13{,}134 + 1{,}30 = 14{,}4340$ см³ для одного цилиндра и общее $\varphi_1''' = 14{,}4340 \cdot 7 = 101{,}038$ см³ для семи прессов.

Суммарная упругость системы будет

$$\varphi_1 = \varphi_1' + \varphi_1'' + \varphi_1''' = 12{,}06 + 25{,}4092 + 101{,}038 = 138{,}51 \text{ см}^3.$$

Тогда $q_{1\ max}$ при одновременной остановке всех прессов будет

$$q_1 = 14{,}14 \sqrt{\frac{S_1 - S_0}{\varphi_1}} = 14{,}14 \sqrt{\frac{11795{,}3 - 0}{138{,}51}} = 130{,}51 \text{ кг/см}^2.$$

Таким образом при остановке всех прессов давление воды в сети будет достигать величины

$$p = p_1 + q_1 = 225 + 130{,}51 = 355{,}51 \text{ кг/см}^2,$$

т. е. будет больше нормального на 58%.

Как часто это явление может повторяться? Вычислим эту частоту по формуле (27):

$$\tau = \frac{k}{m}\left(\frac{T}{\tau}\right)^{k-1} \cdot T.$$

У нас $k = 7$, $m = 7$, $T = 50$ сек. и $\tau = 5{,}5$ сек. Подставив эти величины, получаем

$$\tau = 1 \cdot \left(\frac{50}{5{,}5}\right)^6 \cdot 50 = 26\,600\,000 \text{ сек.} = 7389 \text{ час.} = 307{,}8 \text{ суток.}$$

Живая сила при движении жидкости в трубопроводе и повышение давления при остановке прессов

Предположим, что трубопровод состоит из магистрали с ответвлениями к отдельным прессам.

При одновременном действии нескольких прессов в разных участках трубопровода, в зависимости от размера труб и количества обслуживаемых прессов, в них будет протекать различное количество воды с различной скоростью.

Пусть на данном участке магистрали, питающей несколько прессов, протекает к ним вода установившимся потоком. Обозначим через: d — внутренний диаметр трубы, мм; f — сечение трубы, см²; l — длина участка, м; m — масса воды на участке; G — вес воды на участке, кг; g — ускорение силы тяжести, равное 9,81 м/сек²; V_1 — объем воды, потребляемой прессами, л/сек.; v_1 — скорость движения воды в трубопроводе, м/сек; S_1 — живая сила воды в трубопроводе, кгм.

$$S_1 = \frac{mv_1^2}{2} = \frac{G}{g} \cdot \frac{v_1^2}{2}.$$

Так как

$$G = \frac{f \cdot l \cdot 10}{100} = \frac{f \cdot l}{10} \text{ кг}$$

и

$$\frac{fv_1 \cdot 10}{100} = V_1$$

или

$$v_1 = \frac{10\,V_1}{f},$$

то

$$S_1 = \frac{G}{g} \cdot \frac{v_1^2}{2} = \frac{f \cdot l}{10\,g} \cdot \frac{100 \cdot V_1^2}{2f^2} = \frac{10}{2g} \cdot \frac{l}{f} \cdot V_1^2 = 0{,}51 \frac{l}{f} \cdot V_1^2;$$

$$S_1 = 0{,}51 \cdot \frac{l}{f} \cdot V_1^2. \qquad (61)$$

Если таким образом определим живую силу для каждого участка трубопровода и сложим полученные величины, то получим величину живой силы воды во всем трубопроводе, т. е. ΣS_1 при работе всех прессов установки.

После остановки нескольких прессов живая сила воды во всем трубопроводе будет иметь величину ΣS_2.

Разность $\Sigma S_1 - \Sigma S_2$ даст увеличение давления q_2 в цилиндрах прессов и в трубопроводе. Обозначим через φ_2 — упругость системы, см³; q_2 — конечное увеличение давления в системе, кг/см²; $\frac{1}{2}q_2$ — среднее увеличение давления в системе, кг/см²; f — площадь сечения трубопровода, см²; h — перемещение воды в трубе под действием давления q_2.

Тогда среднее увеличение давления будет

$$\frac{1}{2} q_2 \cdot f \text{ кг}.$$

Передвижение воды в трубопроводе под действием давления в 1 кг/см² будет $\frac{\varphi_2}{f}$ см, и полное передвижение под давлением q_2 будет равно

$$h = \frac{q_2}{100} \cdot \frac{\varphi_2}{f} \text{ м}.$$

Произведенная при этом работа равняется

$$A_2 = \frac{1}{2} q_2 \cdot f \frac{q_2}{100} \cdot \frac{\varphi_2}{f} = 0{,}005\, \varphi_2 q_2^2 \text{ кгм}.$$

Эта работа, естественно, должна быть равна затрачиваемой живой силе, т. е.

$$0{,}005\, \varphi_2 q_2^2 = \Sigma S_1 - \Sigma S_2.$$

Отсюда увеличение давления воды в трубопроводе от действия живой силы

$$q_2 = 14{,}14 \sqrt{\frac{\Sigma S_1 - \Sigma S_2}{\varphi_2}}. \qquad (62$$

Так как в выражение для $S_1 \left(S_1 = 0{,}51 \frac{l}{f} \cdot V_1^2 \right)$ входит длина трубопровода l, то, значит, величина q_2 будет переменная по длине трубопровода, достигая различного максимума у каждого пресса. Равным образом при остановке пресса у него будет максимум повышения давления. Таким образом давление будет достигать своего максимума у прессов, а у аккумулятора, т. е. в начале трубопровода, $q_2 = 0$.

При определении необходимой для расчета q_2 полной величины φ_2 М. В. Костогаров предлагает брать в расчет объем: 1) останавливаемого пресса — весь, 2) неостанавливаемого пресса — половину и 3) трубопровода — половину (так как давление увеличивается от 0 у аккумулятора до q_2 у пресса и, значит, деформация трубопровода изменяется также следуя этому закону). Упругость аккумулятора в расчет величины φ_2 совсем не вводится.

Ввиду простоты определения величин φ_2 и q_2, производимых подобно предыдущему расчету величин φ_1 и q_1, и громоздкости са-

мого расчета, этого расчета для приведенного выше примера здесь не даем; отметим только, что величина q^2 для приведенного примера определена равной $q_2 = 55{,}19$ кг/см^2.

Влияние неравномерной подачи жидкости насосами на изменение давления в трубопроводе

Изменение давления жидкости от максимума до минимума при насосах: 1) в двух цилиндрах с кривошипами, расположенными один к другому под углом в 180°, равно, как известно, 100%; 2) при трех цилиндрах с кривошипами под углом в 120° равно 13,4% и 3) при четырех цилиндрах с кривошипами под углом в 90° равно 30%. Это видно из диаграммы фиг. 186. Таким образом наиболее равномерное давление струи обеспечивают насосы трехскальчатые с кривошипами под углом 120° один к другому, почему обычно их и применяют в производстве.

Величина изменения давления q_3, зависимая от этого фактора, вследствие наличия при насосах воздушных регуляторов давления весьма невелика, всего порядка 4—5 кг/см^2, почему ею при расчетах практически можно пренебречь.

Сопротивление движению жидкости трубопровода и пусковой аппаратуры

Влияние этого фактора, как показывают расчеты [1], по сравнению с величинами q_1 и q_2 также невелико. Так как сопротивление трубопровода движению жидкости является тормозом для повышения давления и, примерно, по величине равно q_3, то суммарное влияние двух последних факторов будет близко к нулю. Поэтому можно их в расчет не принимать.

Таким образом, оказывающими большое влияние на повышение давления в трубопроводе главными факторами являются два первые приведенные выше, и нам нужно только суммировать даваемые ими величины q_1 и q_2.

Определение суммарного максимального повышения давления жидкости при учете указанных выше факторов [2]

Выше мы имели $S_1 - S_2 = 0{,}005\,\varphi_1 q_1^2$ и $\Sigma S_1 - \Sigma S_2 = 0{,}005\,\varphi_2 q_2^2$.

Отсюда

$$q_1^2 = 200\frac{S_1 - S_2}{\varphi_1}$$

и

$$q_2^2 = 200\frac{\Sigma S_1 - \Sigma S_2}{\varphi_2}.$$

Складывая, имеем

$$q_1^2 + q_2^2 = 200\left(\frac{S_1 - S_2}{\varphi_1} + \frac{\Sigma S_1 - \Sigma S_2}{\varphi_2}\right),$$

откуда, извлекая квадратный корень из обеих частей равенства, получаем

$$\sqrt{q_1^2 + q_2^2} = 14{,}14\sqrt{\frac{S_1 - S_2}{\varphi_1} + \frac{\Sigma S_1 - \Sigma S_2}{\varphi_2}}.$$

---

[1] Шведлер, Трубопроводы, 1936.

[2] М. В. Костогаров, Гидропрессовые установки, 1936.

Правая часть представляет собой суммарное повышение давления, вызванное суммой потерь живых сил. Отсюда очевидно, что и левая часть равенства представляет собой не что иное, как ту же величину, т. е. другими словами, суммарную величину увеличения давления. Таким образом

$$q_{полное} = \sqrt{q_1^2 - q_2^2}, \qquad (63)$$

а не простой их сумме.

Для приведенного выше примера установки были найдены величины $q_1 = 130{,}51$ кг/см² и $q_2 = 55{,}19$ кг/см²,

Отсюда суммарное повышение давления будет

$$q = \sqrt{130{,}51^2 + 55{,}19^2} = \sqrt{20186} = 142 \text{ кг/см}^2$$

и фактическое пиковое давление в сети при одновременной остановке всех прессов будет достигать величины

$$p = p_1 + q = 225 + 142 = 367 \text{ кг/см}^2,$$

что составляет 163% нормального рабочего давления $p_1 = 255$ кг/см².

Произведенные подобным образом подсчеты позволяют подойти более уверенно к решению вопроса о рациональности выбранной схемы трубопровода, правильности принятых сечений на отдельных его участках, надежности расчета труб и их соединений на прочность, необходимости установки в соответствующих местах компенсаторов давления, предохранительных клапанов и т. п.

11. ТРАНСПОРТ ЦЕХА

На основе разработанного плана размещения оборудования и грузового потока металла в цехе решается вопрос о типе и подъемной силе внецехового и внутрицехового транспорта, о типе и размерах тары для мелких отходов и пр. При этом учитываются вес и размеры слитков и расстояние от цеха до литейной, а также вес и длина получающегося в процессе производства полуфабриката, количество и вид отходов (прессостатки, концы, стружка, опилки и пр.) и, наконец, общее количество, длина и вес штуки готовых изделий.

В связи с вопросами транспорта еще раз проверяется расстановка оборудования и внутренних колонн здания, и, в случае необходимости, вносятся требующиеся изменения.

12. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ЦЕХА

Выяснив места расстановки оборудования и относящихся к ним двигателей и зная необходимую мощность и условия работы последних, решаем вопрос о принимаемой мощности и типе двигателей, роде тока и его напряжении, о пусковой и защитной к силовым приемникам аппаратуре, о подводе тока к цеху, месте установки, типе и мощности подстанции и ее аппаратуре, о канализации тока по цеху, подаче его к мот. рам, месте установки и типе пусковых ящиков или щитков управления, о силе света и распределении световых точек и подводе к ним тока и вообще о всей энергетической и световой стороне проекта.

13. ПРОЧИЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТА

Об остальных вопросах проекта говорилось в начале IV главы. В заключение приводятся технико-экономические показатели, которые делятся на: А) абсолютные и Б) относительные. Примерный перечень таковых приводится в табл. 92. Последние должны служить доказательством рациональности принятой данным проектом технологии, правильности выбора типа и количества оборудования и т. п., т. е. должны доказать выгодность соответствующих капиталовложений, в результате чего стоимость продукции проектируемого цеха должна быть более низкой.

14. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОИЗВОДСТВА

Таблица 92

А. Абсолютные

1) Годовой выпуск изделий в т
2) Годовой выпуск изделий в неизменных ценах
3) Количество рабочих (без МОП, ИТР и служащих)
4) Общая производственная площадь цеха
5) Общая установленная мощность токоприемников
6) В том числе моторов
7) Общий расход электроэнергии
8) Общая стоимость строительства
9) В том числе стоимость оборудования

Б. Относительные

1) Годовой выпуск в тоннах на:
   а) 1 рабочего
   б) 1 м² площади
   в) 1000 кв установленной мощности
2) Годовой выпуск в неизменных ценах на:
   а) 1 рабочего
   б) 1 м² площади
   в) 1000 кв установленной мощности
3) Площадь на 1 производственного рабочего
4) %-ное отношение количества ИТР к рабочим
5) %-ное отношение количества служащих к количеству рабочих
6) Установленная моторная мощность на 1 рабочего
7) Расход моторной электроэнергии на рабочего
8) Общий расход электроэнергии на:
   а) 1000 руб. выпуска в неизменных ценах
   б) 1 т выпущенной продукции
9) Средний коэфициент использования установленной мощности
10) % площади, занятой оборудованием, по отношению ко всей площади цеха
11) Стоимость строительства на 1000 руб. годового выпуска продукции в неизменных ценах
12) Стоимость оборудования на 1 рабочего
13) % стоимости оборудования к общей стоимости строительства
14) Выпуск продукции на 1 руб. капиталовложений
15) Выход годного в %
16) Калькуляция себестоимости основных видов производства и сравнение с себестоимостью действующих предприятий

ГЛАВА V

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРЕССОВЫХ УСТАНОВОК

Общие соображения. Хотя настоящая книга имеет в виду читателя главным образом технолога, все же читателю полезно кратко ознакомиться с основами расчета размеров или определения напряжений в главнейших деталях прессового оборудования. Мы не претендуем на подробный расчет всего оборудования и даже пресса. Это является специальностью механика[1], но дать схему расчета главнейших узлов применяемого в прессовых цехах основного оборудования считаем совершенно необходимым. Практика показывает, что технолог должен уметь правильно дать технические условия к заказу пресса для своей установки, должен отнестись критически к тому, что ему предлагают машиностроительные заводы, а в особенности иностранные фирмы[2]. Он должен уметь определить не только требующийся ему для работы тоннаж прессов или объем аккумулятора и пр., о чем говорилось выше в главе IV, но и знать, из какого материала та или иная часть установки должна быть сделана, уметь проверить те или другие размеры на прочность или определить напряжения и т. п.

С этой целью ниже в табл. 93 указаны наименования и качество материалов, из которых обычно изготовляется та или другая часть, и далее приведены основы расчета на прочность главнейших деталей.

1. МАТЕРИАЛЫ, ИХ АНАЛИЗ И МЕХАНИЧЕСКИЕ КАЧЕСТВА

Материалы, их механические качества и состав, а равно соответствующие по механическим качествам марки по нашим ГОСТ указаны в табл. 93.

---

[1] Интересующихся подробным расчетом прессов мы отсылаем: 1) к книге М. В. Костогарова «Гидропрессовые установки» (1936); 2) к книге В. Г. Шальнева «Гидравлические прессы» (1939), где прекрасно и подробно излагаются все вопросы механическо-конструкторского характера; 3) к книге Порецкого «Курс кузнечного дела, т. III, 1934; 4) к книге Мюллера (E. Müller, Hydraulische Schmiedepressen und Kraftwasseranlagen (1939), Berlin, J. Springer.

[2] Автору известны не единичные случаи поставки иностранными фирмами прессов, не отвечающих заказу по силе давления, с ненормальной толщиной стенок цилиндра, с неудачной их конструкцией и т. п.

Таблица 93

Материал для прессовых установок

№ по пор.	Наименование деталей и сорта стали	Материал: Временное сопротивление $\sigma_в$ кг/мм²	Предел текучести кг/мм²	Относительное удлинение $l = 10\,d$	Относительное удлинение $l = 5\,d$	H_B кг/мм²	Содержание C %	Примечания
	А. Кованые части стальные							
1	Цилиндры, стяжные болты (колонны), гайки, аккумуляторные баллоны, плунжеры обратного хода, фланцы сальников, корпуса дистрибуторов, клапаны, коленчатые валы насосов, болты для ответственных частей и их гайки. Сталь средней твердости	50—60	28—33	18	22	140—170	0,35	По ОСТ сталь 5 повышенного качества
2	Плунжеры и штоки цилиндров, матрицедержатели, иглодержатели, муфты, пальцы кривошипов, валы, крейцкопфы насосов. Сталь твердая	60—70	33—38	14	17	170—210	0,45	По ОСТ сталь 6 повышенного качества
3	Плунжеры, коленчатые валы, зубчатые колеса, подпятники. Сталь особо твердая	70—85	38—46	10	12	210—255	0,60	По ОСТ сталь 7 нормальная
4	Фланцы, штанги обратного хода, траверсы, замки. Сталь мягкая	42—50	23—28	20	25	115—140	0,25	По ОСТ сталь 4 нормальная
5	Неответственные штанги, фундаментные болты, разные болты и шпильки	37—45	18—23	20	25	105—125	—	По ОСТ сталь 3 нормальная
6	Железные конструкции	37—45	—	—	—	—	—	Обычное прокатанное железо без указания механических качеств
	Б. Литые части стальные							
7	Цилиндры прессов, плунжеры, головки плунжеров, гайки для колонн, зубчатые колеса редукторов и т. п. Сталь средней твердости	50	—	—	19	140	—	
8	Пуансоны. Сталь твердая	60	—	—	8	163	—	
9	Станины редукторов, цилиндры замка, корпус контейнера, гайки, отводы к цилиндрам. Сталь мягкая	45	—	—	16	125	—	

Продолжение табл. 93

№ по пор.	Наименование деталей и сорта стали	Материал						Примечания
		Временное сопротивление $\sigma_в$, кг/мм²	Предел текучести кг/мм²	Относительное удлинение $l = 10\,d$	Относительное удлинение $l = 5\,d$	H_B кг/мм²	Содержание С %	
10	Втулки контейнера, матрицы и прессшайбы Специальная жаропрочная сталь для температур свыше 200°С							
	В. Чугунные части							
11	Направляющие втулки, стойки дистрибуторов, фундаментные плиты, головки матрицедержателя. Чугун мягкий	12	—	—	—	130	—	
12	Подшипники, втулки колес со стальными зубчатыми венцами, кожухи для редукторов, поршни, подставки и станины насосов. Чугун средней твердости	18	—	—	—	160	—	
	Г. Бронзовое и латунное литье							
13	Грундбуксы для сальников цилиндров, направляющие втулки	15	10	—	10	60	85 Cu 5 Sn 7 Zn 3 Pb	
14	Вкладыши подшипников с большой нагрузкой	20	16	—	15	60	90 Cu 10 Sn	
15	Втулки подшипников, подпятники	20	18	—	2	110	86 Cu 14 Sn	
16	Латунь специальная: буксы цилиндров	30	18	—	30	90	—	
17	Коробки для клапанов и клапаны, арматура разная для высоких давлений	65	35	—	18	155	—	
	Д. Бронза кованая							
18	Клапаны, клапанные седла, корпуса клапанов, скалки, поршневые скалки, винтовые соединения, штанги для клапанов	60	32	—	20	185	50—60 Cu Mn, Al, Fe, Sn — до 7,5 Zn ост.	
19	Алюминиевая бронза: клапаны, клапанные седла	75	40	—	15	180		

Примечания. 1. Плунжеры главных цилиндров при конструкции, обеспечивающей только наружное давление по периферии и на донышко, т. е. не подвергающиеся внутреннему гидравлическому давлению [1], фирма Шлеман рекомендует делать чугунными с закаленной поверхностью, что обеспечивает меньшую их изнашиваемость, меньший коэфициент трения и, значит, более высокий к. п. д. пресса.

2. Втулки контейнера изготовляют из специальной высокожароупорной стали (см. табл. 94), примерно такого состава: 0,3—0,5% C; 4—4,5% Ni; 8—9% W; <0,35% Mn; 1,3—2,3 Cr.

Такая сталь обладает при высоких температурах механическими свойствами, указанными в табл. 94.

Таблица 94

Температура °C	Временное сопротивление разрыву кг/мм²	Предел текучести кг/мм²	Удлинение %	Сжатие поперечного сечения %	Твердость по	
					Бринелю	Шору
425	129,0	112,5	15	55	341	58
540	100,0	87,5	18	60	285	46
650	82,5	67,0	24	66	229	38

3. Для грундбукс сальников цилиндров В. Г. Шальнев рекомендует также бронзу следующего состава: 55,4% Cu; 38% Sn; 3,25% Mn; 2,0% Zn; 0,75% Al, которая в литом виде дает σ_b 25 кг/мм² и относительное удлинение, равное 11%; в кованом виде $\sigma_b = 40$ кг/мм² и относительное удлинение, равное 12%.

4. Для клапанов фирма «Гидравлик» рекомендует также кованую бронзу следующего состава: 47,38% Cu; 0,45% Al; 0,24% Fe; 45,09% Zn; 4,16% Ni; 0,26% Si; S — следы; P — следы.

У нас, в Советском Союзе, пробовали применять бронзу следующего состава: 10,0% Al; 0,2% Sn; 0,05% As; 0,5% Fe+Zn+Pb; 8,0% Ni; 0,1% Si; 0,05% Al; 0,1% P; остальное Cu. Механические свойства такой бронзы: $\sigma_b = 60$ кг/мм², предел текучести 45 кг/мм², удлинение 2—10%.

Шлеман применяет для клапанов нержавеющую сталь такого состава: 0,33% C; 0,4% Mn; 6,79% Ni; 0,74% Si; 16,35% Cr; 0,34% V.

У нас, в Советском Союзе, для этой же цели с успехом применяют сталь ЭЯ2 следующего состава: 0,24—0,35% C; 0,50% Mn; 0,6% Ni; 0,70% Si; 13—15% Cr; 0,03% P; 0,03% S.

Трубопроводы

Трубы для сетей высокого давления длиной от 4 до 7 м делаются диаметром до 100 мм, толстостенные, цельнокатаные, которые собираются на фланцах, как то было показано на фиг. 204; диаметром же свыше 100 и до 300 мм делаются обычно цельные, кованые, вместе с фланцами по фиг. 243. Для их изготовления применяется сталь 5 нормальная с временным сопротивлением $\sigma_b = 50—60$ кг/мм² при удлинении 16% и твердости $H_B = 100—115$ кг/мм²; состав ее примерно следующий: 0,18—0,25% C; 0,68—0,74% Mn; 0,12—0,19% Si; $\leqslant 0{,}03\%$ P $\leqslant 0{,}03\%$ S.

Размеры цельнотянутых труб диаметром от 7 до 100 мм по каталогу Стальсбыта указаны в табл. 95.

Размеры кованых труб диаметром от 100 до 300 мм приведены в табл. 96.

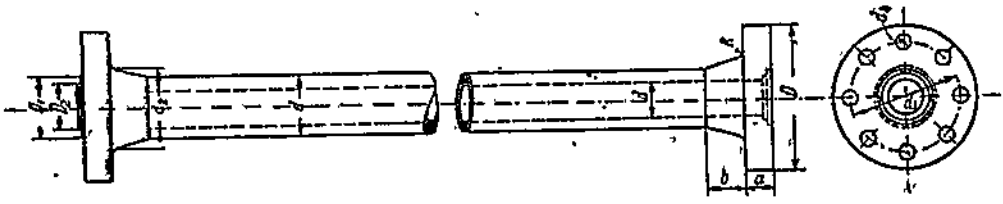
[1] Главные плунжеры прессов по фиг. 129 с задним донышком или с донышком с хвостовиком по фиг. 133 подвергаются при работе только внешнему давлению; стенки же плунжеров прессов по фиг. 150 и 151 с передним донышком при выходе плунжера из цилиндра подвергаются внутреннему давлению, вызывающему тангенциальные растягивающие напряжения.

Таблица 95

Диаметр, мм		Толщина стенки мм	Предельное рабочее давление кг/см²
внутренний	наружный		
7	19	6	500
10	22	6	500
13	25	6	400
16,5	28,5	6	400
20	32	6	320
26	38	6	320
32,5	44,5	6	250
37	51	7	200
46	60	7	200
64	83	9,5	200
80	102	11	200
90	114	12	200

Таблица 96

Размеры в мм
(к фиг. 243)



Фиг. 243. Кованая труба для высоких давлений

d	d_1	d_2	d_3	d_4	D	D_1	D_2	a	b	R
100	155	210	290	50	390	140	130	70	100	20
125	195	250	335	60	450	165	155	80	100	20
150	230	290	370	68	500	190	180	85	100	20
175	275	330	465	80	620	215	205	110	120	20
200	310	380	510	95	700	240	230	140	150	20
225	350	430	580	95	770	265	255	140	150	25
250	390	480	640	105	850	295	280	155	150	25
275	435	520	695	120	930	320	300	170	150	30
300	475	580	745	120	980	345	330	180	175	30

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛАВНЕЙШИХ РАЗМЕРОВ И НАПРЯЖЕНИЙ

Определение внутренних размеров цилиндров

а) Главный цилиндр пресса и его плунжер. Под термином «давление пресса», «тоннаж пресса», а также «мощность пресса»[1] подразумевается не рабочее давление на материал в контейнере или на прессшайбу, а то давление, которое создается в главном цилиндре на плунжер. Это — номинальное давление пресса. Совершенно понятно, что рабочее давление, передаваемое пуансоном на прессшайбу или на материал, будет меньше номинального на величину потерь на трение в сальниках цилиндров, на опорах головки главного плунжера и пр. Обычно принимают к. п. д. горизонтальных прессов $\eta = 0{,}85—0{,}90$ в зависимости от тоннажа (у крупных прессов $\eta = 0{,}85$, у меньших $\eta = 0{,}90$), у вертикальных прессов можно принимать к. п. д. $\eta = 0{,}95$.

У прутково-трубных прессов под полным давлением пресса часто подразумевают суммарное давление на главный плунжер и плунжер иглы. При заказе следует разделять эти две величины. Таким образом показано давление прессов в табл. 16 (глава II) в виде дроби 3000/3500 т, 2400/2700 т и пр. Это значит, что давление на главный плунжер у этих прессов 3000 и 2400 т, а на плунжер иглы 500 и 300 т. Равным образом при заказе нужно всегда оговаривать, при каком гидравлическом давлении это номинальное давление пресса имеет требуемую величину. Давление в сети, как об этом говорилось в главах II и IV, колеблется обычно на 10—15%. Совершенно понятно, что требуемая сила прессования или прошивки должна развиваться прессом при низшем давлении воды. Надлежащая же прочность частей установки должна обеспечиваться при высшем давлении.

Пример 1. Диаметр плунжера горизонтального 1500-т пресса по фиг. 141 равен 980 мм или площадь $F = 7543$ см², что и обеспечивает указанную его номинальную мощность при высшем давлении воды $p_i'' = 220$ кг/см²

$$P_0'' = p_i'' \cdot F = 220 \cdot 7543 = 1\,659\,360 \text{ кг} \approx 1659 \text{ т}$$

и при низшем давлении воды $p_i' = 200$ кг/см².

$$P_0' = p_i' \cdot F = 200 \cdot 7543 = 1\,508\,600 \text{ кг} \approx 1500 \text{ т}.$$

Пример 2. Диаметр плунжера вертикального 600-т пресса на фиг. 151 равен 62 см или площадь $F = 3019$ см², что при давлении воды $p_i' = 200$ кг/см² обеспечивает указанную его номинальную мощность

$$P_0 = p_i' \cdot F = 200 \cdot 3019 \approx 603\,800 \text{ кг} \approx 600 \text{ т}.$$

На основании сказанного диаметр главного плунжера по заданному номинальному давлению пресса определяется просто:

1) при конструкции главного плунжера, согласно фиг. 141, по формуле

$$D_{пл} = \sqrt{\frac{4 P_0}{\pi p_i'}}; \qquad (64)$$

[1] Твердого термина нет. Разные авторы называют его по-разному: у В. Г. Шалыгина видим слово «давление», у С. И. Губкина «тоннаж» и у М. В. Костогарова — «сила прессования» или «тоннаж» пресса. В заводской практике часто можно также слышать термин «мощность» пресса, что, однако, с точки зрения правильности технической терминологии должно быть признано менее удачным.

2) при конструкции главного плунжера, согласно фиг. 133, т. е. с хвостовиком для направления штанги иглодержателя, по формуле

$$D_{пл} = \sqrt{\frac{4P_0}{\pi \cdot p_i'} + d_{хвост}^2}, \tag{65}$$

где $D_{пл}$ — диаметр плунжера, см;

P_0 — номинальное давление пресса, равное давлению воды на дно плунжера, кг;

p_i' — гидравлическое низшее рабочее давление жидкости в цилиндре, кг/см²;

$d_{хвост}$ — наружный диаметр хвостовика, см.

Внутренний диаметр цилиндра $D_i = 1{,}05\ D_{пл}$ делается больше диаметра плунжера на величину 20—50 мм, равную двойной толщине буксы цилиндра. Длина последней принимается равной 0,35—0,4 и до 0,6 диаметра плунжера, т. е. $l = (0{,}35—0{,}4)\ D_{пл}$.

Ход главного плунжера H принимается равным длине контейнера плюс некоторый запас C для удобства введения слитка в контейнер и недопущения удара укрепляющим пуансон фланцем в корпус контейнера. Величина этого запаса C зависит от конструкции механизма для подачи слитка от печи и введения его в контейнер.

Внутренняя длина цилиндра L принимается такой, чтобы задний конец главного плунжера при своем крайнем положении для обеспечения надлежащего его положения не заходил далее половины длины буксы цилиндра.

Толщина сальникового уплотнения из волокнистого материала принимается равной

$$k = \left(1 \div \frac{2}{3}\right)\sqrt{D_{пл}}\ ^*$$

и длина ее b делается равной $b = (7—8 \text{ и до } 10)\,k$. Эти величины могут быть также взяты по приведенным выше (стр. 295 и 296) таблицам 87, 88 и 89, составленным на основе американских и других данных. Длина уплотнения может быть также взята по диаграмме (фиг. 235 **), в которой γ обозначает отношение длины уплотнения b к диаметру плунжера, т. е. $\gamma = \frac{b}{D_{пл}}$.

При крайнем исходном положении плунжера между его концом и дном цилиндра необходимо оставлять водяную прослойку толщиной 50—100 мм для смягчения удара плунжера в дно.

Таким образом полная длина цилиндра внутри должна быть минимум равна

$$L = H + \frac{1}{2}l + b + (50-100)\ мм. \tag{66}$$

Длина цилиндра внутри обычно равна (1,2—1,3) H_{max}.

Пример 1. Пресс по фиг. 133 с ходом 2100 мм имеет диаметр плунжера $D_{пл} = 1210$ мм, внутренний диаметр цилиндра $D_i = 1260$ мм, длину буксы $l = 480$ мм, толщину сальникового уплотнения $k = 25$ мм и его длину $b = 250$ мм. Отсюда внутренняя длина цилиндра определяется равной

$$L = 2100 + ½ \cdot 480 + 250 + 80 = 2670\ мм,$$

что отвечает чертежу.

---

* Hütte, инж., т. II, 1935, стр. 361.

По Баху (Детали машин, ч. II, стр. 367) для кожаных манжет (см. фиг. 236) принимается $k = 2\sqrt{D_{пл}}$.

** М. В. Сторожев, НИИМАШ, № 8—9, 1932, стр. 391 фиг. 8.

Пример 2. Пресс 3000 т по фиг. 143 имеет длину контейнера 1000 мм, расстояние между контейнером и пуансоном 1400 мм, отсюда ход главного плунжера $H = 2500$ мм, диаметр плунжера $D_{пл} = 1560$ мм; диаметр цилиндра $D_1 = 1600$, длину буксы 560 мм, толщину сальникового уплотнения $k = 36$ мм и его длину $b = 300$ мм.

Отсюда внутренняя длина цилиндра определяется равной

$$L = 2500 + \tfrac{1}{2} \cdot 560 + 300 + 80 = 3160 \text{ мм},$$

что отвечает чертежу.

Сечение и диаметр отверстий в автоматическом клапане для подачи воды высокого и низкого давления в цилиндр определяются, исходя из максимального расхода этой воды цилиндром и принимаемых скоростей ее прохода через эти отверстия. Совершенно понятно, что такого же диаметра будут трубы, подающие воду от дистрибутора к автоматическому клапану, от виндкесселя к клапану, и проходное отверстие в цилиндр. Расчет этот и применяемые обычно скорости указаны ниже в приведенном примере.

Пример 1. Определить диаметры отверстий для подачи воды в главном цилиндре 3000-т пресса по фиг. 143 с диаметром плунжера $D_{пл.} = 1560$ мм.

Примем на основе данных табл. 81 скорость движения главного плунжера при прессовании $v = 80$ мм/сек и при холостом ходе $v' = 200$ мм/сек; скорость прохода воды через отверстия примем 15 м/сек для высокого давления и 7,5 м/сек для низкого.

Согласно данным табл. 83, максимальный расход главным цилиндром воды высокого давления при прессовании таких материалов, как медь, латунь и пр., равен 125 л/сек и воды низкого давления при холостом ходе 313 л/сек.

При принятых скоростях и расходе воды диаметры отверстий в автоматическом наполнительном клапане определяются так:

$$\frac{\pi d^2}{4} \cdot v = W,$$

откуда

$$d = \sqrt{\frac{4W}{\pi v}}, \qquad (67)$$

где W — объем подаваемой воды в сек.; v — скорость прохода ее через отверстия.

На основе этого равенства получаем, что отверстие для прохода воды

а) высокого давления должно быть

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 125}{3{,}14 \cdot 150}} = \sqrt{1{,}02} = 1{,}009 \text{ дм} \approx 101 \text{ мм};$$

б) низкого давления должно быть

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 313}{3{,}14 \cdot 75}} = \sqrt{5{,}33} = 2{,}309 \text{ дм} \approx 231 \text{ мм}.$$

Если эти же величины определим, исходя из скорости движения плунжера, то найдем следующее соотношение на основании равенства объемов воды:

$$\frac{\pi d^2}{4} \cdot v_2 = \frac{\pi D_{пл}^2}{4} v_1,$$

откуда

$$d = D_{пл} \sqrt{\frac{v_1}{v_2}}, \qquad (68)$$

где d—диаметр отверстия;

$D_{пл}$—диаметр плунжера;

v_2 — скорость прохода воды через клапан;

v_1 — скорость движения плунжера.

Для высокого давления

$$d' = D_{пл} \cdot \sqrt{\frac{80}{15000}} = D_{пл} \cdot \frac{8{,}94}{122{,}47} = 0{,}073\, D_{пл} = 0{,}073 \cdot 1560 = 114 \text{ мм}.$$

Для низкого давления

$$d'' = D_{пл} \cdot \sqrt{\frac{200}{7500}} = D_{пл} \cdot \frac{14{,}14}{86{,}6} = 0{,}17\, D_{пл} = 0{,}17 \cdot 1560 = 265 \text{ мм}.$$

Совершенно понятно, что проход в цилиндр должен быть сделан по большему значению, т. е. по d''. На фиг. 143 этот размер принят равным 250 мм. Отверстие в дистрибуторе и в клапане для воды высокого давления у этого пресса (см. табл. 25) сделано диаметром 99.5 мм и трубы от дистрибутора до клапана приняты размером 99,5×126,5 мм.

б) Цилиндры обратного хода главного плунжера. Для определения цилиндров обратного хода главного плунжера необходимо сначала сконструировать основной узел пресса. В узел входит главный цилиндр с плунжером со всей его аппаратурой в виде головки, упорной закаленной плиты, всего устройства для укрепления пуансона, переднего и заднего (если он имеется) сальника по главному плунжеру и др. Определим вес всех подвижных частей и все сопротивления трению при движении плунжера. Приняв сначала ориентировочно во внимание вес подвижных частей цилиндров обратного хода и сопротивления в их сальниках и добавив величину сопротивления при движении главного плунжера, определяем приблизительно размеры плунжеров этих цилиндров, уточняем затем принятые ориентировочно размеры и веса и устанавливаем, наконец, нужные нам размеры.

Для грубой ориентировки в весе движущихся частей вертикальных прессов можно воспользоваться данными, приведенными М. В. Сторожевым[1] для кузнечных прессов, для которых вес этих частей G он определяет в зависимости от давления пресса P_0 по формуле

$$G = \alpha \cdot P_0, \tag{69}$$

причем принимает величину коэфициента α для небольших прессов равной 0,02 и для больших 0,01. Подсчет нескольких прессов нашего типа показывает, что величину этого коэфициента можно для предварительных расчетов принимать равной $\alpha = 0{,}02$.

Коэфициент трения при движении головки плунжера по направляющим и буксе цилиндра, учитывая, что трение здесь будет полусмазанное, принимается около 0,15.

Сопротивление движению плунжера определяется по формуле

$$R_1 = 0{,}15\ G. \tag{70}$$

При вертикальных прессах, учитывая возможность перекоса, принимают давление на ползуны равным (0,4—0,7) от вертикального передаваемого давления и уже по этой силе определяют величину R_1.

Таким же образом определяют силу трения иглодержателя в направляющих главного плунжера, иглы в пуансоне и т. п.

Сопротивление трения в сальниках цилиндра определяется по формуле Гольднера

$$R_2 = \mu \cdot p_i'' \cdot D_{пл} \cdot b, \tag{71}$$

где μ — коэфициент трения;

p_i'' — высшее давление жидкости, кг/см²;

$D_{пл}$ — диаметр плунжера, см;

b — длина сальникового уплотнения, см.

Коэфициент трения в сальниках с волокнистой набивкой принимается обычно равным $\mu = 0{,}08$—$0{,}10$. В манжетах (по Лангу) коэфициент μ берется равным 0,03—0,07 для мягкой смазанной кожи; 0,10—0,13 для жесткой сильно дубленой и до 0,2 — при грязной воде; для средних условий обычно принимается $\mu = 0{,}07$—$0{,}08$.

Определив таким образом все сопротивления обратному движению главного плунжера, находим далее сечение плунжеров обратного хода, их диаметр, диаметр разного рода тяг и уточняем окончательно все принятые нами ориентировочно величины.

[1] М. В. Сторожев, НИИМАШ, № 8—9, 1932, стр. 371—397.

Пример. Определить диаметры скалок цилиндров обратного хода главного плунжера 1600-т пресса (см. фиг. 133). Определяем по чертежу вес подвижных частей. Главный плунжер

$$\left[\underbrace{\frac{\pi}{4}\frac{(1{,}21^2-0{,}4^2)\cdot 3{,}8}{\text{корпус}}}+\underbrace{\frac{\pi}{4}\frac{(0{,}64^2-0{,}40^2)\cdot 2{,}9}{\text{хвостовик}}}+\underbrace{\frac{\pi}{4}\frac{(0{,}25^2-0{,}15^2)\cdot 1{,}1}{\text{пуансон}}}\right]\cdot 7850=$$

$$=[(1{,}15-0{,}12)\cdot 3{,}8+(0{,}32-0{,}12)\cdot 2{,}9+(0{,}05-0{,}02)\cdot 1{,}1]\cdot 7850=4{,}527\cdot 7850\approx$$

$\approx 36\,000$ кг.

Приняв коэфициент трения при передвижении плунжера по бронзовым втулкам и направляющим равным 0,15 (учитывая, что поверхности будут полусмазаны), получаем силу трения

$$R_1=0{,}15\cdot 36\,000=5400 \text{ кг}.$$

Сила трения сальников по диаметру $D_{пл}=1210$ мм при коэфициенте трения $\mu=0{,}08$ и длине $b=280$ мм по формуле Гольднера будет

$$R_2=\mu p_1'' D_{пл}\cdot b=0{,}08\cdot 220\cdot 121\cdot 28=60\,000 \text{ кг}.$$

Сила трения в манжетах по хвостовику плунжера при его диаметре $d_a=640$ мм и длине уплотнения $b=300$ мм (по фигуре) будет

$$R_3=0{,}08\cdot 220\cdot 64\cdot 30=34\,000 \text{ кг}.$$

Примем ориентировочно силу трения в передних и задних сальниках двух цилиндров обратного хода

$$R_4+R_5\approx 40\,000 \text{ кг}.$$

При давлении воды в виндкесселе 10 ÷ 12 кг/см² при обратном ходе противодавление в главном цилиндре на плунжер будет равно

$$R_6=\frac{\pi}{4}\cdot(121^2-64^2)\cdot(10\div 12)=(11\,499-3216)(10\div 12)=8283(10\div 12)=82\,830\div$$

$\div 109\,396\approx 83\,000\div 109\,000$ кг.

Таким образом сила тяги цилиндров обратного хода главного плунжера должна быть

$$R=5\,400+60\,000+34\,000+40\,000+83\,000=222\,400 \text{ кг}\approx 225\,000 \text{ кг}.$$

Отсюда сечение f' стальных кованых скалок в тонкой части при допустимом напряжении $R_z=600$ кг/см² будет равно $2f'\cdot 600=225\,000$, откуда

$$f'=\frac{225000}{2\cdot 600}=187 \text{ см}^2 \text{ и } d'\approx 15{,}5 \text{ см}\approx 16 \text{ см}\approx 160 \text{ мм},$$

при котором действительное сечение $f'=201$ см².

Для обеспечения давления в 225 000 кг рабочая площадь у каждой скалки должна быть

$$f''=\frac{225000}{2\cdot 200}=562{,}5 \text{ см}^2.$$

Общее сечение каждого плунжера в толстой части должно быть $f=201+562{,}5=763{,}5$ см², откуда диаметр этого сечения будет 32 см = 320 мм, что и отвечает данным чертежа.

Определив диаметры скалок-плунжеров, проверим, правильно ли принята нами величина сопротивления.

R_4+R_5 приблизительно равна 40 000 кг.

Имеем $R_4=2\cdot 0{,}08\cdot 220\cdot 16\cdot 20=2\cdot 5650=11\,300$ кг;

$R_5=2\cdot 0{,}08\cdot 220\cdot 32\cdot 25=2\cdot 14\,080=28\,160$ кг.

Сумма 39 460 кг (что отвечает принятой выше величине).

Подсчет, как отсюда видно, довольно сложный сам по себе. Но положение усложняется еще тем обстоятельством, что при прессовании, а особенно с рубашкой, может развиваться при обратном движении пуансона сопротивление трения пуансона о стенки контейнера, пуансон может застревать в получившейся рубашке, может несколько привариваться к прессостатку и пр. Все это делает подсчет недостаточно надежным. Поэтому на практике давление цилиндров обратного хода главного плунжера обычно принимают равным 10—12% давления прямого хода.

Пример 1. 1500-т пресс фиг. 141 имеет диаметр главного плунжера 980 мм ($F = 7543$ см²) и для обратного его хода плунжер диаметром 310 мм, площадь которого $f = 755$ см², что составляет $\sim 10\%$ площади, а значит, и силы давления главного плунжера.

Пример 2. Пресс фиг. 133 имеет диаметр главного плунжера 1210 мм, хвостовика 640 мм, скалки обратного хода 160 × 290 мм. Это дает рабочую площадь плунжера

$$F = \frac{\pi}{4} \cdot (121^2 - 64^2) = 11\,499 - 3216 = 8283 \text{ см}^2$$

и площадь скалок

$$f = 2\frac{\pi}{4}(29^2 - 16^2) = 2 \cdot (660 - 200) = 920 \text{ см}^2,$$

(что составляет 11% площади главного плунжера).

в) Цилиндр прямого рабочего хода иглы и его плунжер. При определении диаметра плунжера рабочего хода иглы давление прошивки должно быть достаточным даже при подаче слитка несколько менее пропретого или более трудно прессуемого сплава и должно составлять не менее 10%, а обычно оно составляет около 15 и до 20% от тоннажа пресса.

Пример 1. Диаметр плунжера прямого хода иглы горизонтального 1500-т пресса фиг. 141 равен 185 × 350 мм. Это обеспечит давление на иглу при $p_1' = 200$ кг/см²,

$$P = 2 \cdot \frac{\pi}{4}(35^2 - 18{,}5^2) \cdot 200 = 2\,(962 - 269) \cdot 200 = 2 \cdot 693 \cdot 200 = 277\,200 \text{ кг} \approx 277 \text{ т},$$

что составляет 18,5% тоннажа пресса.

Пример 2. Диаметр главного плунжера пресса (фиг. 133) $D_{пл} = 1210$ мм, $d_{хвост} = 640$ мм, это дает рабочую площадь плунжера

$$F = \frac{\pi}{4} \cdot (121^2 - 64^2) = 8283 \text{ см}^2$$

и давление прессования при $p_1' = 200$ кг/см², равное

$$P_0 = 1\,656\,000 \approx 1600 \text{ т};$$

диаметр плунжера иглы $d_{игл} = 460$ мм и его сечение

$$f = \frac{\pi}{4} \cdot 46^2 = 1661 \text{ см}^2,$$

что обеспечивает давление прошивки

$$P = 1661 \cdot 200 = 332\,200 \text{ кг} \approx 332 \text{ т},$$

составляющее 20% от полного давления пресса.

Ход плунжера этого цилиндра равен длине хода главного плунжера плюс длина контейнера и во всяком случае не менее максимальной длины слитка.

Все остальные соображения и соотношения, указанные выше в отношении размеров отдельных деталей главных цилиндров, конечно, остаются полностью в силе и здесь. Поэтому при ходе главного плунжера пресса по фиг. 133, равном 2100 мм, и максимальной длине слитка для труб, равной 600 мм, ход плунжера иглы равен 2700 мм. При ходе главного плунжера 3000-т пресса по фиг. 143, равном 2500 мм, ход плунжера иглы равен 3000 мм.

г) Цилиндры обратного хода иглы. Подсчет сопротивлений при обратном ходе иглы может быть сделан подобно сказанному выше в отношении цилиндра обратного хода главного плунжера. На практике, однако, из соображений возможности приварки иглы к прошиваемому слитку мощность цилиндров обратного хода иглы

делают больше, чем получена расчетом, и обычно ее принимают равной от 10 до 20% силы давления, развиваемого цилиндром прямого хода иглы.

Пример 1. 1500-т пресс (фиг. 141) имеет для прямого хода иглы рабочее сечение двух скалок размерами 185 × 350 мм, равное:

$$f = 2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (35^2 - 18{,}5^2) = 2\,(962 - 269) = 2 \cdot 693 = 1386 \text{ см}^2,$$

и для обратного $$f' = \frac{\pi}{4} \cdot (15^2 - 6^2) = 177 - 28 = 149 \text{ см}^2,$$

что составляет 10,8% площади плунжера прямого хода иглы.

Пример 2. Пресс по фиг. 133 имеет при диаметре плунжера прямого хода иглы, равном 460 мм, площадь

$$f = \frac{\pi}{4} \cdot 46^2 = 1662 \text{ см}^2$$

и для обратного хода два подвижных цилиндра с внутренним диаметром 150 мм или общей площадью

$$f' = 2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 15^2 = 2 \cdot 177 = 354 \text{ см}^2,$$

что составляет около 21,5% первой.

Пример 3. Пресс 3000 т по фиг. 143 имеет диаметр плунжера прямого хода иглы 525 мм или рабочую площадь

$$f = \frac{\pi}{4} \cdot 52{,}5^2 = 2165 \text{ см}^2$$

и для обратного хода два плунжера диаметром по 160 мм или общую их площадь

$$f' = 2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 16^2 = 2 \cdot 201 = 402 \text{ см}^2,$$

что составляет 18,6% первой.

Все остальные элементы цилиндров рассчитываются, как и выше.

д) Остальные цилиндры и пр. рассчитываются подобным же образом.

Определение напряжений в частях пресса

а) Цилиндры. Учитывая, что давление воды в цилиндрах прессов изменяется более или менее плавно от некоторого минимального, определяемого давлением в виндкесселе (5—8 и до 15—20 кг/см²), до максимального, определяемого давлением воды в сети (200—300, а иногда и более кг/см²), и что пресса строятся из высококачественных материалов и на лучших машиностроительных заводах, при расчете его деталей на прочность принимают довольно высокие нормы напряжений, обычные для II рода нагрузки. Так как колебания давления воды в аккумуляторе при работе не превосходят 10—15%, то, казалось бы, что эту часть установки (т. е. аккумуляторы) можно было бы рассчитывать по напряжениям, допускаемым даже для I рода нагрузки, т. е. еще более высоким.

Однако, учитывая большую опасность, представляемую установками с высокими давлениями, рассчитывать и эти детали по напряжениям I рода не следует, хотя Hütte [1] находит возможным даже цилиндры гидравлических прессов считать работающими в условиях I рода нагрузки (постоянное давление), почему допускает для стального литья напряжения растяжения от 1000 до 2000 кг/см². В то же время для менее ответственных изделий общего машиностроения Hütte [2] дает следующие нормы напряжений R_z (см. табл. 97), что, конечно, не увязы-

[1] Hütte, инж. т. II, 1935, стр. 370.
[2] Там же, стр. 236, табл. 27.

вается между собой, тем более, что здесь же для цилиндров насосов он считает возможной нагрузку II рода и дает для стального литья допустимое напряжение всего $R_z = 500$ кг/см².

Таблица 97

Материал	Род нагрузки	
	I	II
Сталь St. 50.11 кованая	1200—1800 кг/см²	700—1080 кг/см²
Сталь Stg. 45.81 литая	600—1200 »	360— 720 »

Э. Мюллер [1] дает нормы более надежные и, как увидим из приведенных подсчетов, отвечающие нормам у работающих прессов, т. е. проверенным практикой. Он принимает для стали кованой St.50.11 допустимое напряжение в цилиндрах $R_z = 1000 — 1200$ кг/см² и для литых цилиндров улучшенной стали Stg.50.81.R напряжение разрыву $R_z = 800 — 1000$ кг/см².

В. Г. Шальнев [2] напряжений свыше 1000 кг/см² для стали 5 также не дает.

Для разрешения вопроса, какие же в действительности допущены напряжения в работающих на практике прессах, ниже приведен ряд расчетов по имеющимся в нашем распоряжении чертежам.

Для расчета толщины стенок цилиндра, подверженного внутреннему давлению, прессостроительные заводы Европы [3] применяют обычно формулу Ляме [4], выведенную на основе теории прочности Сен-Венана,

$$r_a = r_i \sqrt{\frac{R_z + 0{,}4\,p_i}{R_z - 1{,}3\,p_i}}, \qquad (72)$$

где r_a — наружный радиус цилиндра;
r_i — внутренний радиус цилиндра;
R_z — допустимое напряжение материала;
p_i — внутреннее давление жидкости.

Практика показывает, что надежность стенок цилиндра, рассчитанного по формуле Ляме, при принятии соответствующих разумных напряжений в металле вполне достаточна. Поэтому далее все расчеты сделаны по этой формуле.

Пример 1. Горизонтальный 1000-т пресс (фиг. 128). Диаметр главного плунжера $D_{пл} = 660$ мм, наружный диаметр цилиндра D_a равен 935 мм и внутренний $D_i = 700$ мм, толщина стенки — 117,5 мм. Так как этот пресс построен на давление в 300 кг/см², то по приведенной выше формуле

$$r_a = r_i \sqrt{\frac{R_z + 0{,}4p_i''}{R_z - 1{,}3p_i''}},$$

где $r_a = 46{,}75$ см — наружный радиус цилиндра; $r_i = 35{,}0$ см — внутренний радиус цилиндра; $p_i'' = 300$ кг/см² — внутреннее давление, кг/см²; R_z — искомое допустимое напряжение на разрыв, кг/см².

[1] Müller, Hydraulische Schmiedepressen und Kraftwasseranlagen. 1939.
[2] В. Г. Шальнев, Гидравлические прессы, 1936.
[3] Как это установлено автором лично в 1941 г.; см. также книгу В. Мюллера (п. 1).
[4] Hütte, инж. ч. II, 1936, стр. 142—145.

Решая это уравнение относительно R_z, получим:

$$R_z = \frac{p_i'' (0{,}4r_i^2 + 1{,}3r_a^2)}{r_a^2 - r_i^2}. \qquad (73)$$

Отсюда, подставив наши величины, имеем

$$R_z = \frac{300\ (0{,}4 \cdot 1225 + 1{,}3 \cdot 2190)}{2190 - 1225} = 1038 \text{ кг/см}^2.$$

Пример 2. Горизонтальный 1000-т пресс (фиг. 129). Внутренний диаметр главного цилиндра $D_i = 820$ мм и наружный $D_a = 1010$ мм, диаметр плунжера $D_{пл} = 800$ мм.

При максимальном давлении $p_i'' = 220$ кг/см² номинальная сила давления пресса будет

$$P_a = \frac{\pi D_{пл}^2}{4} \cdot p_i'' = \frac{\pi}{4} \cdot 80^2 \cdot 220 = 5026{,}55 \cdot 220 = 1\,105\,841 \text{ кг} \approx 1106 \text{ т}.$$

Принимая $r_a = 50{,}5$ см, $r_i = 41{,}0$ см, подобно предыдущему находим

$$R_z = \frac{220\ (0{,}4 \cdot 1681 + 1{,}3 \cdot 2550)}{2550 - 1681} = 910 \text{ кг/см}^2.$$

Пример 3. Вертикальный 600-т пресс (фиг. 151). Внутренний диаметр главного цилиндра $D_i = 680$ мм и наружный $D_a = 880$ мм. Принимая $r_a = 44$ см, $r_i = 34$ см подобно предыдущему при $p_i'' = 220$ кг/см², получим:

$$R_z = \frac{220 \cdot (0{,}4 \cdot 1156 + 1{,}3 \cdot 1936)}{1936 - 1156} = 845 \text{ кг/см}^2.$$

Отметим, что при подсчетах можно пользоваться не только приведенной выше полной формулой (72), но и сокращенной формулой $s = \xi \cdot D_i$ (74), для чего приведена[1] табл. 98, содержащая величины ξ в зависимости от внутреннего давления p_i'' и допустимого напряжения R_z.

Таблица 98

Значение величины ξ для определения толщины стенок s цилиндров, подверженных внутреннему давлению p_i'', от 200 до 340 кг/см², при допустимом напряжении R_z от 400 до 1000 кг/см² [к формуле (74)]

Давление жидкости p_i, кг/см²	Величина R_z, кг/см²				
	400	500	600	800	1000
200	0,4258	0,2773	0,2071	0,1383	0,1040
220	0,5345	0,3283	0,2401	0,1572	0,1172
240	0,6871	0,3903	0,2773	0,1775	0,1311
260	0,9256	0,4656	0,3196	0,1994	0,1457
280	1,3656	0,5607	0,3685	0,2231	0,1612
300	3,1056	0,6871	0,4258	0,2490	0,1775
320	—	0,8672	0,4946	0,2773	0,1949
340	—	1,1557	0,5792	0,3085	0,2134

Например, для диаметра $D_i = 820$ мм при $p_i'' = 220$ кг/см² и $R_z = 800$ кг/см² по полной формуле (72) будем иметь:

$$r_a = 41 \sqrt{\frac{800 + 0{,}4 \cdot 220}{800 - 1{,}3 \cdot 220}} = 41 \sqrt{\frac{888}{514}} = 41 \sqrt{1{,}72} = 41 \cdot 1{,}314 = 53{,}87 \text{ см} = 539 \text{ мм}$$

[1] Hütte, инж., ч. II, 1935, стр. 144.

Отсюда толщина стенки $s = r_a - r_i = 539 - 410 = 129$ мм. Эту величину мы получим и по указанной выше формуле (74); при $p_i = 220$ кг/см² и $R_z = 800$ кг/см² находим величину $\xi = 0{,}1572$, откуда $s = 0{,}1572 \cdot 820 = 128{,}9$ мм, т. е. также 129 мм.

Для облегчения расчетов ниже приведена табл. 99, при помощи которой легко определяются тангенциальные напряжения растяжения

Таблица 99

Определение напряжений в цилиндре, подверженном внутреннему давлению

$p_i : \sigma_{z_{D_i}}$	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13
$D_a : D_i$	1,009	1,017	1,026	1,035	1,044	1,054	1,063	1,074	1,083	1,093	1,104	1,114	1,125
$\sigma_{z_{D_a}} : \sigma_{z_{D_i}}$	0,987	0,974	0,961	0,948	0,935	0,922	0,909	0,896	0,883	0,870	0,857	0,844	0,831
$p_i : \sigma_{z_{D_i}}$	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26
$D_a : D_i$	1,136	1,148	1,159	1,171	1,183	1,195	1,208	1,221	1,234	1,248	1,262	1,277	1,291
$\sigma_{z_{D_a}} : \sigma_{z_{D_i}}$	0,8 8	0,805	0,792	0,779	0,766	0,753	0,740	0,727	0,714	0,701	0,688	0,675	0,662
$p_i : \sigma_{z_{D_i}}$	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38	0,39
$D_a : D_i$	1,307	1,322	1,338	1,355	1,372	1,390	1,408	1,427	1,446	1,466	1,487	1,509	1,531
$\sigma_{z_{D_a}} : \sigma_{z_{D_i}}$	0,649	0,636	0,623	0,610	0,597	0,584	0,571	0,558	0,545	0,532	0,519	0,506	0,493
$p_i : \sigma_{z_{D_i}}$	0,40	0,41	0,42	0,43	0,44	0,45	0,46	0,47	0,48	0,49	0,50	0,51	0,52
$D_a : D_i$	1,555	1,579	1,604	1,630	1,658	1,686	1,716	1,748	1,781	1,815	1,852	1,890	1,931
$\sigma_{z_{D_a}} : \sigma_{z_{D_i}}$	0,48	0,467	0,454	0,441	0,428	0,415	0,402	0,389	0,376	0,363	0,350	0,337	0,324
$p_i : \sigma_{z_{D_i}}$	0,53	0,54	0,55	0,56	0,57	0,58	0,59	0,60	0,61	0,62	0,63	0,64	0,65
$D_a : D_i$	1,974	2,020	2,069	2,121	2,177	2,238	2,303	2,374	2,451	2,536	2,630	2,734	2,851
$\sigma_{z_{D_a}} : \sigma_{z_{D_i}}$	0,311	0,298	0,285	0,272	0,259	0,246	0,233	0,220	0,207	0,194	0,181	0,168	0,155
$p_i : \sigma_{z_{D_i}}$	0,66	0,67	0,68	0,69	0,70	0,71	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76	0,77	0,78
$D_a : D_i$	2,984	3,135	3,311	3,520	3,771	4,083	4,486	5,033	5,840	7,211	10,430	—	—
$\sigma_{z_{D_a}} : \sigma_{z_{D_i}}$	0,142	0,129	0,116	0,103	0,090	0,077	0,064	0,051	0,038	0,025	0,012	—	—

на внутренней и наружной поверхности подверженного внутреннему давлению цилиндра[1]. Здесь приняты следующие обозначения:

p_i—внутреннее давление воды, кг/см²;

D_a—наружный диаметр цилиндра, см;

D_i—внутренний диаметр цилиндра, см;

$\sigma_{z_{D_i}}$ — напряжение на внутренней поверхности цилиндра, кг/см²;

$\sigma_{z_{D_a}}$ — напряжение на наружной поверхности цилиндра, кг/см².

Пример 1. Возьмем размеры приведенного выше примера (фиг. 128) 1000-т горизонтального пресса, у которого $D_a = 935$, $D_i = 700$ мм и $p_i = 300$ кг/см².

Для отношения $D_a : D_i = 935 : 700 = 1{,}33$ по табл. 99 находим, что отношение $p_i : \sigma_{z_{D_i}} = 0{,}29$ и $\sigma_{z_{D_a}} : \sigma_{z_{D_i}} = 0{,}623$.

Отсюда

$$\sigma_{z_{D_i}} = \frac{p_i}{0{,}29} = \frac{300}{0{,}29} \approx 1000 \text{ кг/см}^2 \text{ и}$$

$$\sigma_{z_{D_a}} = 0{,}623 \cdot 1000 = 623 \text{ кг/см}^2.$$

[1] Для ориентировочных подсчетов можно также пользоваться номограммами, даваемыми В. Г. Шальневым в его книге «Гидравлические прессы», 1939, стр. 146, фиг. 154 и стр. 147, фиг. 155.

Пример 2. Главный цилиндр 3000 т пресса (фиг. 143) при давлении воды $p_i'' = 220$ кг/см² имеет $D_i = 1440$, $D_a = 1740$ мм и толщину стенки $s = 150$ мм. Отношение $D_a : D_i = 1740 : 1440 \approx 1{,}21$.
Этому отношению отвечает по табл. 99

$$p_i : \sigma_{z_{D_i}} = 0{,}20 \text{ и } \sigma_{z_{D_a}} : \sigma_{z_{D_i}} = 0{,}74.$$

Отсюда $\sigma_{z_{D_i}} = \frac{220}{0{,}20} = 1100$ кг/см² и $\sigma_{z_{D_a}} = 1100 \cdot 0{,}74 = 814$ кг/см².

Пример 3. Пресс 1600 т при давлении воды 200—220 кг/см² (фиг. 133) имеет внутренний диаметр главного цилиндра $D_i = 1260$ и наружный $D_a = 1700$ мм (толщина стенки 220 мм).
Отношение

$$\frac{D_a}{D_i} = \frac{1700}{1260} = 1{,}35,$$

откуда $\sigma_{z_{D_i}} = \frac{220}{1{,}35} = 733$ кг/см² и $\sigma_{z_{D_a}} = 733 \cdot 0{,}61 = 447$ кг/см².

Таким образом проверка показывает, что у главных литых цилиндров напряжение принимается от 730 до 1000 кг/см². Мы считаем, что при расчете толщины стенок литых цилиндров даже из стали повышенного качества превышать цифру 800 кг/см² не следует. Для кованых цилиндров значение этой величины можно несколько увеличивать, однако и в этом случае не принимать ее выше 1000 кг/см².

Так как вспомогательные цилиндры пресса (замка, обратного хода и пр.) делаются обычно из стали менее качественной, как то видно из табл. 93, то в них допустимые напряжения должны быть принимаемы меньшие, с тем, чтобы запас прочности от временного сопротивления был во всяком случае не менее 5.

Дно цилиндра, при возможности это осуществить, следует делать сферическим с радиусом, равным $\frac{D_i}{2}$ и в крайнем случае равным D_i, причем переход от цилиндрической стенки к дну в этом случае следует делать радиусом $r = 0{,}2D_i$. При плоском донышке его толщину следует брать равной не менее

$$s' = (1{,}5\text{—}2{,}0)\, s,$$

где s—толщина цилиндрической части и переходный радиус, равный вышесказанному и во всяком случае не менее $\frac{1}{8} D_i$.

Напряжение в середине плоского донышка может быть определено, в случае цельного донышка без отверстия, как в подверженной изгибу равномерно нагруженной круглой пластинке с прочно заделанными концами, по формуле

$$\sigma_{max} = 0{,}488 \cdot p_i \cdot \frac{R_i^{2*}}{s^2}. \qquad (75)$$

Э. Мюллер для обеспечения большей прочности плоского донышка предлагает считать пластинку свободно лежащей и определять напряжение в середине по формуле

$$\sigma_{max} = \varphi \cdot p_i \cdot \frac{R_i^2}{s^2},$$

откуда

$$s = R_i \cdot \sqrt{\frac{\varphi \cdot p_i}{\sigma^2}}, \qquad (76)$$

причем $\varphi = 1{,}4$, и переходный радиус от стенки цилиндра к донышку рекомендует принимать равным

$$r \approx \frac{1}{8} D_i.$$

* Hütte, инж., т. II, 1935, стр. 137, формула (2).

Приведенная выше формула (76) по Hütte имеет несколько другой вид, а именно

$$\sigma_{max} = 1{,}24 \cdot p_1 \frac{R_1^{2}}{s^2}. \quad (77)$$

В случае наличия в донышке отверстия, конечно, следует принимать формулу (76) или (77), как обеспечивающие более надежную прочность этой части цилиндра.

Толщина крышки сальника $s_1 = 2\,d_{вн}$, где $d_{вн}$ — диаметр шпильки для затяжки уплотнения. Расчет напряжения в ней (крышке сальника) на изгиб ведется следующим образом.

Давление воды на половинку сальниковой крышки P_1 равно (см. фиг. 244)

$$P_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi}{4}\left(d_1^2 - d_2^2\right) p_1''. \quad (78)$$

Очевидно, что точка приложения этой силы находится в центре тяжести полукольца шириной k, на которое действует внутреннее давление воды p_1''. Точка эта лежит на расстоянии

$$l_1 = 0{,}6366 \frac{d_1 + d_2}{2}$$

от средней линии фланца. При затяжке половинки сальниковой крышки, очевидно, в центре тяжести полуокружности центров шпилек развивается сила P_2, равная P_1, но направленная в сторону, ей противоположную. Расстояние этой точки до опасного сечения по линии a—b определяется по подобной же формуле, т. е.

$$l_2 = 0{,}6366 \frac{D_0}{2}.$$

Тогда изгибающий момент для расчета фланца определится по формуле

$$M_u = P_1 \cdot y = W \cdot \sigma, \quad (79)$$

и напряжение во фланце

$$\sigma = \frac{P_1 \cdot y}{W}.$$

Здесь $y = l_2 - l_1$ и W — момент сопротивления двух сечений фланца крышки

$$W = 2 \cdot \frac{b \cdot s_1^2}{6} = 2 \cdot \frac{(a-d) \cdot s_1^2}{6}, \quad (80)$$

Фланцы сальниковых крышек и укрепляющие их шпильки делаются из стали Ст. 5, причем напряжение на изгиб допускается 1000—1100 кг/см² ***.

Пример. Определить напряжения в сальниковой крышке (фиг. 244), имеющей следующие размеры

$D_1 = 1280$ мм	$a = 230$ мм	$d_1 = 850$ мм	Давление воды в цилиндре
$D = 1080$ »	$d = 80$ »	$d_2 = 800$ »	$p_1'' = 400$ кг/см²
$D_2 = 820$ »	$k = 25$ »	$b = a - d = 150$ мм	n — число шпилек

Берем шпильки 3″ (ОСТ 1260 с углом профиля 55°)****, имеющие: наружный диаметр 75,61 мм, внутренний — 66,907 мм, сечение стержня $f = 35{,}159$ см². От-

* Hütte, инж., т. II, 1935, стр. 137, формула (6).
** Hütte, инж., т. I, 1936, стр. 261.
*** В. Г. Шальнев, Гидравлические прессы, 1936, стр. 154.
**** Hütte, инж., т. II, 1936, стр. 267, табл. 33.

верстие во фланце $d = 80$ мм. Толщина фланца крышки $s_1 = 2 \cdot 75 = 150$ мм. Толщина уплотнения k (согласно табл. 89) равна $k = 25$ мм.

Давление на половинку фланца сальниковой крышки по формуле (78)

$$P_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi}{4} (85^2 - 80^2) \cdot 400 = \frac{1}{2} (5674 - 5026) \cdot 400 = 129600 \text{ кг},$$

$$l_1 = 0{,}6366 \cdot \frac{850 + 800}{2} = 270 \text{ мм}; \quad l_2 = 0{,}6366 \cdot \frac{1080}{2} = 344 \text{ мм}; y = 344 - 270 = 74 \text{ мм};$$

$$W = \frac{2 \cdot 15 \cdot 15^2}{6} = 1125 \text{ см}^3;$$

$$\sigma = \frac{129\,600 \cdot 7{,}4}{1125} = 862 \text{ кг/см}^2.$$

Фиг. 244

Примем число шпилек $n = 12$ шт. Тогда напряжение в их сечении будет

$$\sigma_z = \frac{2P_1}{n \cdot f} = \frac{2 \cdot 129600}{12 \cdot 35{,}159} = 620 \text{ кг/см}^2.$$

б) Главный плунжер. В зависимости от конструкции пресса главный плунжер при работе подвергается внутреннему давлению (см. фиг. 141), или наружному (см. фиг. 163). В первом случае толщина его стенок естественно рассчитывается, как и стенок цилиндров, а во втором рассчитывается по формуле

$$d_a = d_i \sqrt{\frac{R_z}{R_z - 1{,}7 p_a}}^{*}, \qquad (81)$$

где p_a — наружное давление. При этом, конечно, еще нужно иметь в виду добавочные напряжения, развивающиеся в его стенках от сжатия.

Пример. Определить напряжение в плунжере 1600-т пресса (фиг. 163).

Примем внутренний диаметр хвостовика плунжера равным $d_i = 370 + 2 \cdot 15 = 400$ мм. Имея в виду, что при ходе вперед эта часть подвергается снаружи давлению в 220 кг/см², определяем его наружный диаметр по формуле (81). При $R_z = 650$ кг/см² находим, что

$$d_a = 400 \sqrt{\frac{650}{650 - 1{,}7 \cdot 220}} =$$

$$= 400 \cdot 1{,}54 = 616 \text{ мм}.$$

Учитывая, что впоследствии поверхность этого хвостовика придется не раз обтачивать вследствие ее выработки от нажатия сальниковой набивки, этот диаметр принят на фигуре равным 640 мм.

Тогда рабочая площадь главного плунжера и его диаметр определятся следующим образом

$$P_0 = \frac{\pi}{4} (D_{пл}^2 - d_a^2) \cdot p_1' = 0{,}785 (D_{пл}^2 - 64^2) \cdot 200 = 1\,600\,000 \text{ кг}.$$

* Hütte, инж., т. II, 1935, стр. 147, формула (15).

Отсюда наружный диаметр плунжера

$$D_{пл} = \sqrt{\frac{1\,600\,000}{0{,}785 \cdot 200} + 4096} = \sqrt{14\,296} = 120 \text{ см}.$$

Принимая запас для возможности в дальнейшем снятия обточкой выработки, делаем

$D_{пл} = 1210$ мм, как то принято на фигуре.

Проверяем напряжение в стенках главного плунжера. При работе он подвергается наружному давлению воды и давлению вдоль оси. Внутри плунжера вставлена латунная труба, являющаяся для штанги иглодержателя направляющей втулкой. Примем толщину ее стенки в 15 мм. Тогда отверстие внутри плунжера будет

$$D_{i_{пл}} = 400 + 2 \cdot 15 = 430 \text{ мм}.$$

Толщина стенки плунжера

$$s = \frac{1210 - 430}{2} = 390 \text{ мм}.$$

Напряжение от наружного давления на основе формулы (81)

$$R_z = \frac{1{,}7 p_i'' \cdot D_a^2}{D_a^2 - D_i^2}. \qquad (82)$$

Подставив наши величины $D_a = 1210$ мм, $D_i = 430$ мм и $p_i'' = 220$ кг/см², получаем

$$R_z = \frac{1{,}7 \cdot 220 \cdot 121^2}{121^2 - 43^2} = \frac{1{,}7 \cdot 220 \cdot 14641}{14641 - 1849} = 430 \text{ кг/см}^2.$$

Кроме того, сечение кольца плунжера при давлении воды $p_i'' = 220$ кг/см² испытывает напряжение сжатия продольной силой

$$P_{0_{max}} = \frac{\pi}{4} \cdot (121^2 - 64^2) \cdot 220 = 8283 \cdot 220 = 1\,822\,260 \text{ кг}.$$

Величина этого напряжения равна

$$\frac{\pi}{4}(D_a^2 - D_i^2) \cdot R_d = P_{0_{max}}.$$

Отсюда

$$R_d = \frac{1\,822\,260}{0{,}785 \cdot 12792} \approx 180 \text{ кг/см}^2.$$

Сила, сжимающая плунжер вдоль оси, будет вызывать увеличение диаметра плунжера и напряжение растяжения, уменьшающее полученную нами выше величину 430 кг/см². Величина этого растягивающего напряжения при коэфициенте Пуассона $m = 0{,}3$ * будет равна

$$0{,}26 \cdot 180 = 46{,}8 \approx 47 \text{ кг/см}^2.$$

Таким образом суммарное напряжение в плунжере будет

$$\sigma = 430 + 180 - 47 = 563 \text{ кг/см}^2.$$

в) Стяжные болты (колонны). Материал — Ст. 5 повышенная ($\sigma_b = 50$—60 кг/см² и удлинение 24%). Стяжные болты (колонны—у вертикальных прессов) можно считать нагруженными более или менее равномерно, так как давление главного плунжера, плунжера иглы и пр. действует всегда по оси пресса. Поэтому напряжение простого растяжения в их сечении или их диаметры определяются по формуле

$$P_0 = n \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot R_z, \qquad (83)$$

где P_0 — полное номинальное давление пресса;

n — число болтов;

d — внутренний диаметр винтовой нарезки;

R_z — допустимое напряжение на растяжение, величину которого на основании сказанного выше и учитывая концентрацию напряжений в нарезке следует принимать 700—800 и во всяком случае не выше

* Hütte, инж., т. II, 1935, стр. 7.

1000 кг/см². Приведенные ниже примеры подсчетов напряжений в сечении нарезки болтов работающих прессов это подтверждают.

Нарезка винтовой линии делается обычно трапецевидная с углом $\alpha = 45°$. Такая нарезка не заклинивается в гайке и этим не осложняет, в случае необходимости, откручивания гайки. Шаг винтовой линии h принимается по табл. 100.

Таблица 100

Шаг винтовой линии стяжных болтов.

Наружный диаметр мм	Шаг h мм	Наружный диаметр мм	Шаг h мм
80—110	6	520—550	17
120—150	7	560—590	18
160—190	8	600—630	19
200—230	9	640—670	20
240—270	10	680—710	21
280—310	11	720—750	22
320—350	12	760—790	23
360—390	13	800—830	24
400—430	14	840—870	25
440—470	15	880—910	26
480—510	16	920—950	27
		960—990	28

г) Гайки. Гайки основных стяжных болтов обычно делаются стальные, литые из двух половинок, остальных винтов — кованые цельные (материал — Ст. 5 повышенная).

Резьба гайки и винта рассчитывается как всякого тяжело нагруженного винта, т. е. на изгиб, срез и на смятие резьбы, причем ввиду сильной предварительной затяжки сила, растягивающая каждый болт, принимается равной

$$P = 1{,}2\frac{P_0}{n}, \qquad (84)$$

где P_0 — нормальное давление на главный плунжер и n — число болтов.

Пример 1. У 1000-т пресса по фиг. 123 при максимальном давлении 1106 т стяжные болты (три) имеют наружный диаметр 265 мм и минимальный внутренний диаметр у гаек около 235 мм. Тогда напряжение растяжения, допущенное здесь, будет равно

$$R_z = \frac{1106000}{3\frac{\pi}{4}\cdot 23{,}5^2} = \frac{1106000}{3\cdot 434} = \frac{1106000}{1302} = 850\ \text{кг/см}^2.$$

Пример 2. 1600-т пресс (фиг. 133) при максимальном давлении 1882 т имеет три стяжных болта диаметром в глубине нарезки 340 мм. Это дает напряжение

$$R_z = \frac{1822000}{3\frac{\pi}{4}\cdot 34^2} = \frac{1822000}{3\cdot 908} = 675\ \text{кг/см}^2.$$

У того же пресса два болта, удерживающие цилиндр иглы прямого хода, имеют диаметр в глубине нарезки около 180 мм. Это определяет напряжение при давлении на иглу $P = 220 \cdot 1661 = 365\,420$ кг:

$$R_z = \frac{365420}{2\frac{\pi}{4}\cdot 18^2} = \frac{365420}{2\cdot 255} = 720\ \text{кг/см}^2.$$

Пример 3. 1500-т пресс (фиг. 141) имеет три главных стяжных болта диаметром в глубине нарезки около 250 мм. Это определяет их напряжение

$$R_z = \frac{1500000}{3\frac{\pi}{4}\cdot 25^2} = \frac{1500000}{3\cdot 491} \approx 1000\ \text{кг/см}.$$

В. Г. Шальнев[1] допускает R_z до 1500 кг/см² для резьбовой части и 1300 кг/см² для гладкой части колонны.

Приведенные подсчеты показывают, что прессостроительные фирмы в стяжных, стальных, кованых болтах допускают напряжение растяжения от 675 до 1000 кг/см². Э. Миллер в приведенном примерном расчете 2000-т пресса дает напряжение в нарезке колонн на растяжение $\sigma_z = 440$ кг/см²; напряжение в колоннах от изгиба (пресс кузнечный с эксцентриситетом ковки 15 см) $\sigma_в = 700$ кг/см² и от растяжения около 400 кг/см², т. е. всего около 1100 кг/см².

д) Игла. Минимальный диаметр иглы определяется, исходя из максимального допустимого для нее напряжения на сжатие $R = 12\,000 \div 15\,000$ кг/см², но лучше не превышать величины $R_d = 8000$—$10\,000$ кг/см². Приняв, например, предельную величину $R_d = 15\,000$ кг/см², находим, что минимально возможный внутренний диаметр трубы с 1600-т пресса равен при давлении прошивного плунжера в 320 т (20% от 1600-т)

$$d_{\min} = \sqrt{\frac{4P}{\pi R d}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 320000}{3{,}14 \cdot 15000}} = \sqrt{27{,}2} = 5{,}25\ см \approx 50\ мм.$$

Максимальный диаметр иглы определяется мощностью прошивного устройства.

е) Пуансон. Напряжение сжатия в пуансоне не должно превышать величины 7000—8000 кг/см².

Иглы, пуансон, штанги иглодержателя, конечно, должны быть проверены на продольный изгиб [2].

ж) Контейнер. Очевидно, что наибольшее напряжение стенки контейнера испытывают при прессовании длинных слитков небольшого диаметра. Для такого самого неблагоприятного случая и рассчитываем втулку контейнера. У прессов небольшой мощности втулки контейнера могут быть одинарные. Толщина их стенки рассчитывается подобно указанному выше для цилиндров с внутренним давлением, допуская для R_z, конечно, значительно более высокие величины. Применяемая для изготовления втулок контейнера сталь это вполне допускает. У мощных же прессов втулки делаются двойными. Верхняя рубашка надевается в горячем состоянии на внутреннюю втулку с определенным допуском для натяга, создавая этим во внутренней втулке сильные напряжения сжатия, которые при прессовании разгружаются и переходят в напряжения растяжения, не достигая при этом, однако, опасных границ. Будем считать, что напряжения при прессовании будут восприниматься только втулкой и рубашкой и на корпус контейнера передаваться не будут. В главе II и III (фиг. 133 и 223) был изображен такой контейнер. Здесь мы приведем в качестве примера только расчет наиболее сложных контейнеров.

Пример. Пусть имеем контейнер 1600-т пресса диаметром 250 мм, при котором удельное давление на прессшайбу достигает при давлении воды 220 кг/см² величины

$$\sigma = \frac{1822000}{490{,}8} = 3700\ кг/см^2.$$

Втулка контейнера и его рубашка обычно строятся и рассчитываются так, что отношения радиусов (фиг. 245)

$$\frac{r_2}{r_1} = \frac{r_1}{r} \approx 1{,}4.$$

[1] В. Г. Шальнев, Гидравлические прессы, 1936, стр. 178. Допускаемые им величины, по нашему мнению, слишком высоки.

[2] Пример такой проверки см. в книге «Прессование металлов» П. С. Истомина, 1935, стр. 404.

У нас $r = 125$ мм, $r_1 = 125 \cdot 1{,}4 = 175$ и $r_2 = 175 \cdot 1{,}4 = 245$ мм. Натяг делаем в 0,15 мм. Напряжение сжатия от насадки рубашки определяем по формуле [1]

$$p = \frac{E\delta}{r_1}\frac{(r_1^2 - r^2)(r_2^2 - r_1^2)}{2r_1^2(r_2^2 - r^2)} = \frac{2200000 \cdot 0{,}015 \cdot 150 \cdot 294}{17{,}5 \cdot 2 \cdot 306{,}25 \cdot 444} = 310 \text{ кг/см}^2.$$

Это сжатие создает напряжение во внутренней втулке в тангенциальном направлении [2],

$$\sigma_{t_{r=12,5}} = -\frac{2pr_1^2}{r_1^2 - r^2} = -\frac{2 \cdot 310 \cdot 17{,}5^2}{150} = -\frac{2 \cdot 310 \cdot 306{,}25}{150} = -1270 \text{ кг/см}^2;$$

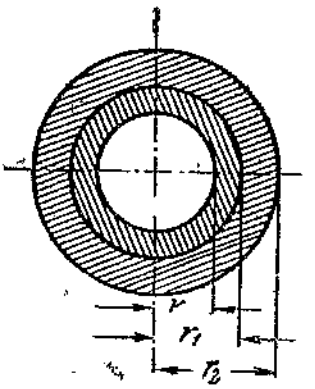
$$\sigma_{t_{r=17,5}} = -\frac{pr_1^2}{r_1^2 - r^2}\left(1 + \frac{r^2}{r_1^2}\right) = -\frac{pr_1^2(r_1^2 + r^2)}{r_1^2(r_1^2 - r^2)} = -\frac{p(r_1^2 + r^2)}{r_1^2 - r^2} =$$

$$= -\frac{310 \cdot 462{,}5}{150} = -955 \text{ кг/см}^2.$$

Те же напряжения в наружной рубашке будут [3]

$$\sigma_{t_{r=17,5}} = \frac{p(r_1^2 + r_2^2)}{r_2^2 - r_1^2} = \frac{310 \cdot 906{,}5}{294} = 955 \text{ кг/см}^2;$$

$$\sigma_{t_{r=24,5}} = \frac{2pr_1^2}{r_2^2 - r_1^2} = \frac{2 \cdot 310 \cdot 306{,}25}{294} = 645 \text{ кг/см}^2.$$



Фиг. 245. Разрез составной втулки контейнера

При наличии такой величины напряжений, зависящих от сжатия внутренней втулки наружным кольцом, в них будут возникать при внутреннем давлении $p_i = 3700$ кг/см² (считаем, что находящийся в пластическом состоянии материал подчиняется законам гидравлики и передает получаемое давление от прессшайбы на стенки контейнера полностью) тангенциальные напряжения, достигающие следующих величин.

Тангенциальные напряжения на внутренней поверхности внутренней втулки [4].

$$\sigma_{t_{r=12,5}} = \frac{p_i r^2}{r_2^2 - r^2}\left(1 + \frac{r_2^2}{r^2}\right) = \frac{3700 \cdot 156{,}25}{444}\left(1 + \frac{600{,}25}{156{,}25}\right) = 1300 \cdot \frac{756{,}5}{156{,}25} =$$

$$= 6300 \text{ кг/см}^2.$$

Такое же напряжение на грани внутренней и наружной втулки

$$\sigma_{t_{r=17,5}} = \frac{p_i r^2}{r_2^2 - r^2}\left(1 + \frac{r_2^2}{r_1^2}\right) = 1300\left(1 + \frac{600{,}25}{306{,}25}\right) = 1300 \cdot \frac{906{,}5}{306{,}25} = 3850 \text{ кг/см}^2.$$

Такое же напряжение на наружной грани наружной втулки

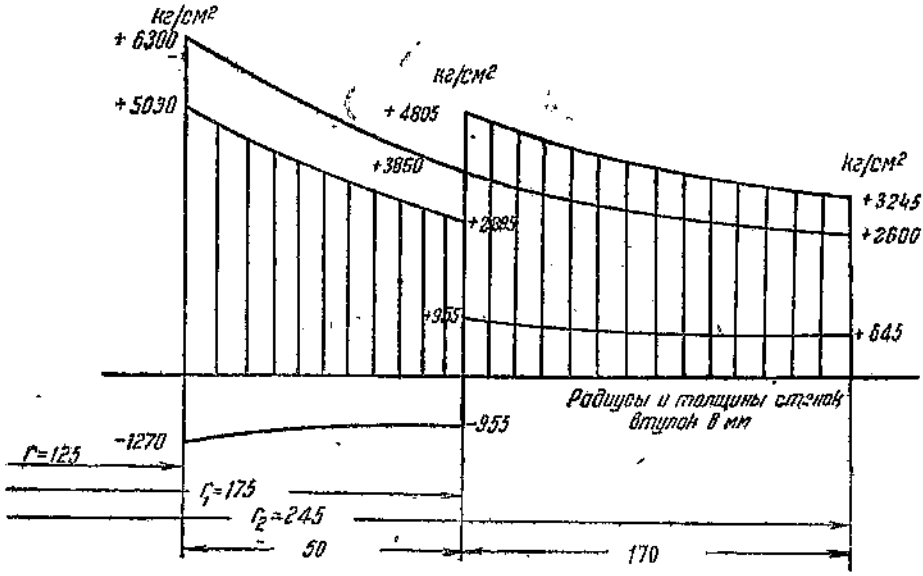
$$\sigma_{t_{r=24,5}} = \frac{p_i r^2}{r_2^2 - r^2}\left(1 + \frac{r_2^2}{r_2^2}\right) = 1300(1 + 1) = 1300 \cdot 2 = 2600 \text{ кг/см}^2.$$

Строим схему распределения этих напряжений (фиг. 246), откладывая по оси абсцисс радиусы наших втулок, а по оси ординат — полученные нами напряжения от предварительного сжатия и развивающиеся при прессовании. Напряже-

---

[1] Тимошенко, Сопротивление материалов, ч. II, стр. 140, формула (129).
[2] Там же, стр. 139, формула (125) и стр. 138 формула (124).
[3] Там же, стр. 138 формула (122).
[4] Там же, стр. 137, формула (121).

ния сжатия во внутренней втулке, имеющие знак минус, откладывают от оси абсцисс — 0—0 вниз, а напряжения растяжения со знаком плюс — вверх. Получим во внутренней поверхности внутренней втулки напряжение сжатия 1270 кг/см² и растяжение при прессовании 6300 кг/см². В результате действительное напряжение растяжения будет 6300—1270 = 5030 кг/см². Подобным же образом найдем, что действительное напряжение на наружной поверхности той же втулки будет 3850—955 = 2895 кг/см². Напряжения на внутренней поверхности наружной втулки, как имеющие одинаковые знаки плюс, будут складываться и дадут здесь суммарное напряжение 3850 + 955 = 4805 кг/см². Равным образом на наружной ее поверхности напряжения растяжения будут достигать величины 2600+645 = = 3245 кг/см². Допустимы ли такие высокие напряжения, имея в виду, что контейнер работает всегда в нагретом состоянии до 300 и даже 450°?



Фиг. 246. Распределение в составной втулке контейнера напряжений при прессовании

Из табл. 94 видно, что, допуская внутри втулки напряжение растяжения 5030 кг/см², мы имеем еще запас прочности до предела текучести, равный $\frac{11250}{5030} = 2{,}2$, т. е. еще допустимый.

Аккумулятор

Толщина стенок и донышек аккумулятора рассчитывается, как цилиндр при допустимом напряжении $R_z =$ до 1000 кг/см². В качестве материала обычно применяется, как указано в табл. 93, сталь Ст. 5 повышенного качества с сопротивлением разрыву 50—60 кг/мм² с пределом текучести 28—33 кг/мм² и удлинением ($l = 10d$) 18%.

Пример. Водяной баллон воздушного беспоршневого аккумулятора на 220 — 200 кг/см² имеет внутренний диаметр $D_i = 1400$ мм, наружный $D_a = 1640$, толщину стенки $s = 120$ мм, общую длину 4025 мм. Донышки баллона сделаны сферические с внутренним радиусом $R_i = \frac{D_i}{2} = 700$ мм, так что высота цилиндрической части баллона $H = 4025 - 1400 = 2625$ мм.

Сечение баллона внутри

$$F_i = \frac{\pi D_i^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 140^2}{4} = 15\,394 \text{ см}^2 = 153{,}94 \text{ дм}^2.$$

Объем такого баллона:

1. Обе сферические части

$$V_1 = \frac{\pi D_i^3}{6} = \frac{3{,}14 \cdot 14^3}{6} = \frac{3{,}14 \cdot 2744}{6} = 1430 \text{ л.}$$

2. Средняя часть $V_2 = F_i \cdot H = 153{,}94 \cdot 26{,}25 = 4050$ л

Сумма ≈ 5500 л.

Проверим величину тангенциального напряжения в стенке.

На основании табл. 99 при $\frac{D_a}{D_i} = \frac{1{,}64}{1{,}40} = 1{,}17$ отношение

$$p_i : \sigma_{z_{D_i}} = 0{,}17 \text{ и } \sigma_{z_{D_a}} : \sigma_{z_{D_i}} = 0{,}779.$$

Величина тангенциального напряжения

а) на внутренней поверхности баллона

$$\sigma_{z_{D_i}} = \frac{p_i''}{0{,}17} = \frac{220}{0{,}17} \approx 1300 \text{ кг/см}^2 \text{ и}$$

б) на внешней поверхности баллона

$$\sigma_{z_{D_a}} = 1300 \cdot 0{,}779 = 1012 \text{ кг/см}^2.$$

Отсюда видим, что такой баллон нужно делать из стали с сопротивлением разрыву не менее 60 кг/см² или лучше увеличить толщину его стенки.

Плоские донышки баллонов рассчитываются, как такие же донышки рабочих цилиндров. Отверстия на концах баллонов закрываются плоскими заглушками, толщина которых рассчитывается, как свободно лежащая пластина, подверженная равномерному давлению, по формуле (76). Напряжение в стержне шпилек, учитывая их предварительную затяжку, принимается не выше 480÷500 кг/см².

Трубопровод

а) Расчет прочности трубопровода[1]. Расчет толщины стенок трубопровода (согласно DIN 2413 и HÜtte, инж. 35, ч. II, стр. 144) ведется по формуле

$$s = p_i \cdot \frac{d_i}{2R_z \cdot x} + c, \tag{85}$$

где p_i — нормальное внутреннее давление жидкости в трубопроводе, кг/см²;

d_i — внутренний диаметр трубопровода, см;

R_z — допустимое напряжение в трубопроводе, кг/см²;

x — коэфициент для цельнотянутых труб, принимаемый равным единице;

c — прибавка для обеспечения безопасности; обычно $c = 0{,}1$ см.

Величина R_z принимается

для чугунных труб 250 кг/см²
» стальных труб для воды до 1000 кг/см²
» » » » пара » 800 »
» » » » перегретого пара до 640 кг/см².

Если учесть, что нагрузка трубопроводов изменяется от 0 до максимума, т. е. является нагрузкой второго рода, и принять $R_z = 850$ кг/см², то данная выше формула (85) может быть приведена к виду более простому и удобному для применения:

$$s = \frac{1}{1700} p_i \cdot d_i + c = 0{,}00059 \; p_i \cdot d_i + c. \tag{86}$$

[1] Ф. Швеллер, Трубопроводы, 1936, стр. 114.

Пример 1. На фиг. 204 для давления $p_{max} = 220$ кг/см² взята труба 89 × × 69 мм, т. е. с толщиной стенки $s = 10$ мм.

По формуле (86), подставив $p_1 = 220$; $d_1 = 6{,}9$ см и $c = 0{,}1$ см, получаем

$$s = 0{,}00059 \cdot 220 \cdot 6{,}9 + 0{,}1 = 0{,}896 + 0{,}1 = 0{,}996 \text{ см} = 10 \text{ мм},$$

Пример 2. На одном из наших заводов были поставлены для давления 220 кг/см² трубы диаметром 126×99,5 мм, т. е. с толщиной стенки $s = 13{,}25$ мм. Согласно формуле (86) толщина стенки s должна быть:

$$s = 0{,}00059 \cdot 220 \cdot 9{,}95 + 0{,}1 = 0{,}1298 \cdot 9{,}95 + 0{,}1 = 1{,}29 + 0{,}1 = 1{,}39 \text{ см} = 13{,}9 \text{ мм}.$$

Пример 3. При проектировании одного из наших новых заводов в трубопроводе были предвидены трубы для давления максимум до 220 кг/см² : 250× ×200, 190×150, 160×125 и 70×50 мм, т. е. с толщиной стенки соответственно: 25, 20, 17,5 и 10 мм. По приведенной выше формуле толщина стенки s должна была бы быть

$$s_1 = 0{,}1298 \cdot 20 + 0{,}1 = 2{,}59 + 0{,}1 = 2{,}69 \text{ см} = 27 \text{ мм}$$
$$s_2 = 0{,}1298 \cdot 15 + 0{,}1 = 1{,}94 + 0{,}1 = 2{,}04 \text{ см} = 20 \text{ мм}$$
$$s_3 = 0{,}1298 \cdot 12{,}5 + 0{,}1 = 1{,}62 + 0{,}1 = 1{,}72 \text{ см} = 17{,}2 \text{ мм}$$
$$s_4 = 0{,}1298 \cdot 5 + 0{,}1 = 0{,}65 + 0{,}1 \cdot 0{,}75 \text{ см} = 7{,}5 \text{ мм}$$

Из приведенных примеров видно, что на практике R_z принимается не свыше указанной выше величины, т. е. около 850 кг/см². Повышать это напряжение следует с большой осторожностью и только точно определив возможные при работе пиковые гидравлические толчки в сети.

б) Опоры для трубопровода. Трубопроводы укладываются на опоры с расстоянием между ними от 4 до 7 м. Расчет этого расстояния производится по формуле

$$M_b = \frac{ql^2}{12} = W \cdot R_b, \tag{87}$$

где q—вес 1 пог. м трубопровода с жидкостью, кг;

l—расстояние между центрами опор, м;

W—момент сопротивления трубы, см³;

R_b—допустимое напряжение на изгиб, кг/см² (обычно принимают равным 100—150 кг/см²).

Из формулы (87) имеем

$$l = \sqrt{\frac{12W \cdot R_b}{q}}. \tag{88}$$

Стрела прогиба трубопровода

$$f = \frac{ql^2}{384\,E \cdot J}, \tag{89}$$

где E — модуль упругости материала трубы;

J — момент инерции сечения трубы.

Расчеты остальных деталей прессовой установки, как: автоматические клапаны наполнения, дистрибуторы, запорные клапаны, предохранительные клапаны и пробки, насосы и т. п., здесь не приводятся, так как это представляет специальную область механики. Интересующихся отсылаем к книге В. Г. Шальнева, где читатель найдет многочисленные конструкции этих деталей и их расчеты.

Библиотека БССР имени Ленина Минская

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
56	11 сверху	величины поперечного сечения ψ	величины сжатия поперечного сечения ψ
57	Подпись под фиг. 77	кг/см²	кг/мм²
61	Фиг. 81 и 82 переставить одну на место другой		
62	32 сверху	крупнокристаллическое	круглокристаллическое
287	Заголовок табл. 81	дм	дм/сек.
299	17 снизу	$\frac{p''}{p_1''}$	$\frac{p_2''}{p_1''}$
299	1 »	$\frac{p_2''}{p''}$	$\frac{p_2''}{p_1''}$
318	6 сверху	$\sqrt{q_1^2 - q_2^2}$	$\sqrt{q_1^2 + q_2^2}$
326	14 »	равным длине	равным двойной длине
335	11 »	$\frac{220}{1{,}35}$	$\frac{220}{0{,}3}$