

~~а 17389~~

Д Е П

Проф. А. П. ВИНОГРАДОВ

КАЛИБРОВКА ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

Рекомендовано УУЗ УинКТП для вдумов на 1934/35 год

1/303030
Ив. 1853 г.



ОНТИ ГОСУДАРСТВЕННОЕ НКТП
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО УКРАИНЫ
Харьков 1934 Киев

ВВЕДЕНИЕ

Калибровка прокатных валков до последнего времени является по преимуществу искусством, которым владеют немногие мастера, специалисты этого дела. Эти мастера имеют тщательно хранимую или коллекцию вырезов калибров валков для различных профилей прокатываемого металла и пользуются ею при точке валков.

Эти коллекции вырезов являются результатом как личного опыта, так и опыта предшественников, от которых он заимствовался по преемственности. Разумеется, эти коллекции, как результат продолжительной, коллективной и трудной работы, представляют большую ценность, облегчая работу калибровщика. Но они же, неосвоенные теорией, таят в себе и источник ошибок. Выработанные для определенных условий работы предыдущего времени и данного завода, они становятся все менее и менее пригодными по мере того, как изменяются в сторону интенсификации условия работы прокатных машин. Они требуют или соответствующей в каждом частном случае переработки, или являются тормозом развития дела при слепом их применении.

Поэтому в последнее время калибровка валков подвергается тщательному изучению по наилучшим действующим примерам, а также на основании специально производимых опытов и наблюдений. Достигнутые результаты этого изучения позволяют сознательно отнестись к процессам деформации металла в ручьях прокатных валков и тем самым облегчают работу приспособления и изменения имеющихся калибровок к изменяющимся условиям производства.

Литература по калибровке валков, можно сказать, является детищем лишь текущего столетия. В прошлом столетии сочинения по теории прокатки и калибровки, положившие начало изучению этих сторон прокатного дела, относятся лишь к последней трети его.

Следующим перечнем работ почти совершенно исчерпывается литература по этим вопросам в прошлом столетии:

Грасгоф — „Определение силы прокатных двигателей“, 1859.

Тиме — „Опыты определения расхода силы при прокатке“, 1872 г.

Дален, Голленберг, Дикман — „Калибровка валков“, 1874 г.

Финк — „Теория процесса прокатки“, 1874 г.

Дени — „Этюды по прокатке“, 1878 г.

Блясс — „Заметки о теории коэффициента обжатия при прокатке“, 1882 г.

К этому же периоду относятся классические труды в области изучения пластической динамики Сан-Венана, Кикка и Треска.

Начало настоящего столетия ознаменовалось выпуском солидных работ по калибровке валков: Жеза (1900), Брово (1903), Кирхберга (1910), Дегеца (1919) и Тафеля (1921), создавших в своей совокупности довольно полную картину основ калибровки.

В своих книгах авторы опирались как на свой личный опыт и указанные выше работы, так и на накопившуюся текущую литературу по теории прокатки и калибровки.

Начало текущего столетия характеризуется прогрессивным и весьма интенсивным ростом периодической литературы по прокатке и калибровке валков.

Чтобы войти в курс происходящей эволюции в деле калибровки валков, следует подвести некоторые общие итоги в работе мысли в области калибровки и наметить некоторые перспективы.

Основные задачи калибровки валков

Вся история калибровки валков стоит в тесной связи с состоянием механического оборудования и производительностью прокатных станков, как это было нами показано при рассмотрении истории развития прокатного дела. Поэтому калибровка валков все время находится в состоянии динамики, в состоянии непрерывного развития.

Все же калибровка валков имеет следующие неизменные основные задачи:

А. Точный профиль и чистота поверхности.

В. Отсутствие внутренних напряжений в продукте прокатки.

С. Возможно более высокая производительность стана.

Д. Минимальная себестоимость производства.

Е. Облегчение и упрощение работы вальцовщика и даже, по возможности, устранение ее.

Проанализируем, чем обуславливается достижение указанных целей.

А. *Достижение точного профиля* обеспечивается соблюдением следующих главнейших условий:

а) Точность размеров последних двух-трех калибров и точность установки валков. Точность установки валков обеспечивается не только опытом, аккуратностью и искусством вальцовщика, но также состоянием и устройством стана.

б) Обеспечение хорошего заполнения калибров основано на точном знании поведения металла при пропуске в калибе. За невозможностью вполне точно определить уширение пользуются правильным подбором закруглений и притуплений.

Закругления и притупления играют большую роль в калибровке валков, так как точное выполнение ребер профиля, без заусенков, получающихся при чрезмерном уширении и без притупленных кромок, получающихся при недостаточном уширении, может быть обеспечено правильным подбором радиусов закруглений и притуплений. Недостаточное заполнение калибров ведет к невыполнению углов чистового профиля или тонких частей его (перо рельса).

Чрезмерное переполнение профиля ведет к образованию заусенок, которые, охлаждаясь во время дальнейшей прокатки, врезаются в тело металла, служа источником образования расслоений, закатов, выявляющихся на готовом продукте в виде продольных трещин и плен.

Неправильное заполнение калибра вызывается также неточной установкой валков, боковой игрой их, вследствие чего образуются на штуче сравнительно тонкие бурты, вызывающие указанные выше закаты.

в) Правильное распределение обжатий или коэффициент вытяжки с отнесением к первым пропускам, когда металл очень горяч и пластичен, *наибольших обжатий* и назначением *минимальных обжатий* в чистовой линии и в особенности в последних двух-трех пропусках. В некоторых случаях, когда требуется особая чистота поверхности, применяющиеся при больших углах захвата насечки валков оказываются вредными, вызывая образование небольших пленок на поверхности металла и неглубоких „трещинок“, вернее, незаварившихся пленок. В этих случаях необходимо избегать применения насечки валков.

г) Чистота и ненапряженность металла. Недостаточно чистый металл, содержащий, например, шлаковые, сернистые, кислородные и вообще, неметаллические включения, может повести к образованию рванин и плен. Точно также напряжения в отдельных частях профиля могут вызвать появление трещин или коробление профиля.

д) Равномерность распределения температур как по сечению, так и по длине полосы во время прокатки.

Неравномерное распределение температур по длине полосы вызывает различное уширение и игру валков и, следовательно, различные поперечные размеры продукта прокатки по длине его. Это часто наблюдается при прокатке проволоки большой длины. Неравномерное распределение температуры по сечению штуки может вызвать неодинаковую вытяжку различных частей профиля и, следовательно, сложное истечение металла, сопровождающееся иногда возникновением внутренних напряжений, приводящих к искажению профиля или появлению трещин, рванин и плен.

В. *Сведение до минимума напряжений в металле* обеспечивается соблюдением следующих главнейших условий:

а) Правильное распределение обжатий внутри каждого калибра, в особенности в чистовой линии, когда температура металла относительно низка.

Несоблюдение этого условия сопровождается возникновением напряжений между неодинаково обжимаемыми частями, тем в большей мере, чем ниже температура прокатки. Особенно сильно сказывается это при температуре ниже A_1 при охлаждении, так как при этом подвергается деформации более склонное к наклепу железо- α . Железо- γ обладает этим свойством в более слабой степени.

б) Неравномерное обжатие следует сообщать профилю, когда это необходимо (фасонные профили), в подготовительных и черновых калибрах, когда металл находится в состоянии гамма, т. е. обладает максимальной пластичностью. При этом следует руководствоваться правилом Тафеля для естественного заполнения калибра, посредством выравнивания натуральных вытяжек отдельных частей профиля.

в) Равномерность прогрева металла и однородность его. Неоднородность металла равносильна неравномерности прогрева профиля.

г) Ускорение прокатки с целью окончания ее при достаточно высокой температуре, что может осуществляться применением высоких коэффициентов вытяжки.

д) Сведение до минимума ребровых пропусков при фасонной прокатке, в которых особенно резко разнятся обжатия отдельных частей профиля.

е) Правильное положение нейтральной линии профиля. Наличие верхнего или нижнего давления непременно сопровождается возникновением напряжений в профиле и при том в тем большей мере, чем больше разница окружных скоростей верхней и нижней катающей поверхностей валков.

ж) Возможное уменьшение разности скоростей катающих поверхностей валков.

С. *Повышение производительности стана* обуславливается:

а) Согласованием калибровки с мощностью двигателя.

б) Уменьшением числа пропусков, используя максимальное обжатие при высокой температуре и избегая ребровых пропусков, затягивающих процесс.

в) Применением оптимальных скоростей валков и дифференциацией с этой целью станов.

г) Правильным распределением калибров между клетями для согласования работы отдельных клетей между собою.

д) Сведением до минимума числа перевалок и износа валков путем размещения калибров и применением, например, косоого расположения калибров.

е) Калибровка *должна учитывать* возможное уменьшение пауз между пропусками, оптимальное обобщение размеров заготовок и черновых калибров.

ж) Выработка калибровки, направленной к указанной здесь цели, сильно переплетается с состоянием механизации стана и организационными

мероприятиями (например, проводки, ободки, столы, передаточные приспособления, рольганги, шлеппера).

При проектировании цеха представляется возможность принять в расчет создание наиболее благоприятного сочетания указанных выше условий достижения высокой производительности.

При существующем производстве достижение максимальной производительности стана ограничивается имеющейся обстановкой, поскольку она не может быть коренным образом изменена.

В этом случае для правильной калибровки нужно особенно хорошо знать работу станом во всех деталях, чтобы достигнуть возможного максимума производительности в данных условиях.

Д. Низкая себестоимость продукта обуславливается в отношении калибровки, кроме высокого выхода точного, ненапряженного металла и высокой производительности стана, следующим:

а) Системой калибровки, обеспечивающей наименьший парк валков и наименьший износ валков.

б) Системой калибровки, обеспечивающей возможно большее число переточек данного валка.

в) Системой калибровки, обеспечивающей использование холостых калибров.

г) Системой калибровки, обеспечивающей минимальный расход энергии как тепловой, так и двигательной, включая рабочую силу, и использующей возможно полную мощность двигателя.

д) Стандартизацией заготовки и согласованием калибровки с системой стана.

е) Калибровкой на минимальный размер профиля.

Е. Облегчение труда вальцовщиков обеспечивается кроме механизации стана и процесса прокатки:

а) правильным выбором верхнего и нижнего давления, угла захвата, скорости и т. п.

б) обеспечением выхода прямой полосы;

в) калибровкой, допускающей максимальное применение автоматических проводок и обводок;

г) калибровкой, облегчающей установку (настройку) валков.

Теоретическая и практическая калибровка

Из приведенного анализа главных условий, необходимых для наилучшего достижения той или другой из основных задач калибровки явствует, что пять основных задач калибровки следует разбить на две группы.

В то время, как выполнение первых двух задач — *точности и ненапряженности профиля* (I группа) — почти исключительно связано с самим процессом пластической деформации, как таковым, законами истечения, пластичностью, однородностью и температурой металла, а также с формой и размерами калибров, выполнение остальных задач (II группа) — *производительности, себестоимости и облегчения труда вальцовщика* — кроме калибровки связано в значительной мере с организационной стороной дела и состоянием механического оборудования.

Поэтому следует различать теоретическую (I группа) и практическую (II группа) калибровку.

Первая имеет в виду разработку методов расчета и построения калибров, приемов создания точного, чистого, ненапряженного, легко вырабатываемого профиля, на основе изучения поведения металла в очаге деформации. Она ведет разработку этих вопросов вне особенностей разнообразнейших условий производства.

Сюда, т. е. к теоретической калибровке, нужно отнести все указанные выше капитальные работы по теории деформации металла в валках и по основам и методике калибровок.

Вторая — практическая калибровка, — занимаясь методикой калибровки в тех или других, часто весьма сложных, конкретных условиях данного производства, принимает в расчет всю совокупность данной производственной обстановки, чтобы достигнуть, опираясь на теоретические основы калибровки, максимальной производительности, минимальной себестоимости и до максимума облегчить работу вальцовщика.

Проблемы теоретической калибровки и их отражение в литературе

В основе калибровки лежит точное знание весьма сложных и тесно связанных между собою явлений истечения металла в очаге деформации между валками, а именно: обжатие, захват, угол захвата, вытяжка, опережение, уширение — свободное, несвободное и вынужденное, попятное движение металла, скорость деформации и скорость прокатки, возникновение напряжений, выравнивание вытяжки различных частей профиля, утяжка, переполнение, заполнение перьев, тонких частей профиля, роль верхнего и нижнего давления, роль охлаждающего действия валков и проч.

Эти явления кроме того связаны с рядом *внешних факторов* — окружная скорость валков, состояние их поверхности, их температура, размеры и форма калибра, диаметр валков и проч.

Пока не установлена точная количественная связь между всеми этими факторами, т. е. база калибровки, к ней нельзя предъявлять требований в каждом частном случае, вполне определенного, точного и бесспорного решения стоящих перед нею задач. Поэтому калибровка и до сих пор в значительной мере остается еще *искусством*. Однако, как уже было отмечено выше, в текущем столетии калибровка, как наука, сделала большие успехи. Она в значительной мере осветила выработанные практикой приемы калибровки, дала возможность изучившему ее быстро овладеть этим искусством и вводить в него большие усовершенствования.

Изучение указанных основ идет двумя методами: 1) методом научно-экспериментального изучения как самого пластического состояния и динамики пластических тел, так и составляющих ее явлений и 2) методом изучения и обобщения накопленного фактического материала — заводских калибровок и экспериментальных данных научного исследования при свете той или другой основной идеи или рабочей гипотезы о сущности процесса деформации в валках.

Оба эти метода применяются разными лицами одновременно, переплетаются друг с другом и дополняют друг друга.

Научно-экспериментальное изучение пластической динамики, сопровождающееся математической обработкой, началось еще в 70-х годах прошлого столетия, в связи с вопросами сопротивления материалов, и имеет таких представителей, как Сан-Венан, Кик, Треска за границей, Курнанов, Мещерский у нас. Эти же вопросы в настоящее время в приложении к вопросам формоизменения как в холодном, так и в горячем состоянии, чисто научно-экспериментально разрабатываются в Дюссельдорфском институте по исследованию железа (Keiser-Wilhelm Institut für Eisenforschung) Кёрбером, Зибелем и их сотрудниками. Помп, Руммель и Свен Экелюнд ведут исследование явления формоизменения при прокатке в лабораторной обстановке, применяя для этого разноцветную глину.

Экспериментальное изучение прокатки начато в 1883 г. Голленбергом, который первый дал изображение истечения металла в очаге деформации в продольном сечении штуки.

Затем Пупе в 1909 г. производил опыты над определением опережения, в зависимости от температуры металла и от коэффициента уменьшения высоты.

Впервые широко было поставлено экспериментальное изучение горячей прокатки Норберт Метцем, опубликовавшим свою работу в 1923—26 г. В переводе 1-ая часть помещена в сборнике „Вопросы металлургии“.

Для лучшего экспериментального изучения процесса прокатки в настоящее время при многих высших учебных заведениях и научных учреждениях установлены *специальные опытные прокатные станы*. Пионером в этой области у нас был Ленинградский Полит. институт, где проф. Грум-Гржимайло был установлен опытный стан. Из экспериментальных работ, проведенных, если не ошибаюсь, на этом стане, известны работы Блехмана, опубликованные проф. Головиным в журнале Рус. Мет. О-ва.

За границей установлены опытные станы 1) в Металлургическом институте Саксонской Горной Академии в Фрейберге; 2) в Исследовательском институте в Бреславе (Дуо 280 и 450) проводятся исследования Тафеля и Вагенера о заполнении ручьев; в этой работе указываются опыты с прокаткой глины, проведенные в Швеции Свен Экелюндом; 3) в Металлургическом институте Высшего Технического училища в Аахене.

Наряду с этим, в последние годы широко применяется постановка опытных исследований на разных заводах, при чем создается необходимая для исследований обстановка (завод Геш). Иногда те или другие исследования проводятся параллельно, как на заводских, так и на опытных станах. Данные, добытые экспериментальными исследованиями на опытных и заводских станах, наблюдения над работой станом, заводские хорошо и плохо действующие калибровки, подвергнутые анализу и обобщениям, *служат материалом* для систематических руководств по калибровке, а также отдельных статей, стремящихся осветить сложные вопросы истечения металла в очаге деформации.

Дадим краткую характеристику важнейших из этих работ по *теоретической калибровке*.

Калибровка валков по Жезу базируется на следующих основных идеях (1900 г.),

1. Уширение пропорционально обжатию, при чем дается в узких пределах коэффициент пропорциональности. Хотя этот прием недостаточно точен, однако и до сих пор за *неимением лучшего* широко применяется с некоторыми отступлениями.

2. Естественная вытяжка стали в каждом пропуске должна отвечать степени пластичности его, т. е. температуре и качеству стали. Эта мысль осуществляется в подборке изменяющихся коэффициентов вытяжки, пропорциональных *меняющимся от температуры удлинением* металла при разрыве или обратно пропорциональных *сопротивлению*.

В виду того, что нельзя точно назначать температуру в каждом пропуске, очевидно этот принцип строго количественно не может быть применен при калибровке, тем не менее он дает ориентировочно известную зависимость (арифметическая прогрессия) в градации коэффициентов, на чем и строит Жез распределение площадей последовательных калибров в своем руководстве.

Этим методом всего удачнее у Жеза разработана калибровка *полосового и углового железа*.

Составленная (в Hütte) по методу Жеза таблица всевозможных градаций коэффициентов вытяжки, дополненная мною произведением P этих коэффициентов, дает возможность выбирать как число пропусков, так и ряд коэффициентов по следующему приему:

$$P = \frac{x}{s}$$

Поскольку сторона исходного квадрата x и толщина полосы (уголка) s — известны, находится произведение коэффициент P , а по нему получается по таблицам наиболее подходящая градация коэффициентов и число пропусков.

3. Влияние размера скоростей рабочих поверхностей на утяжку металла, выраженное формулой:

$$\omega = R - r - \frac{R^2 - r^2}{2R},$$

лежит в основе калибровки всех флянцевых профилей и ребровых пропусков.

Кроме того, автор калибрует каждый элемент сложных профилей *как полосу*.

Автор иллюстрирует свой труд многочисленными калибровками, взятыми из своего опыта, практического инженера, что весьма ценно. Полезной главой его книги также является определение центра тяжести разных сечений. Книга написана и издана в 1900 г. Позднейшее издание 1921 г. не вносит существенных изменений, так как в нем не учтены имевшие место достижения в области более детального изучения процесса деформации. Имеется перевод на русский язык.

„Калибровка“ Брово, составленная в виде атласа чертежей фактических калибровок с краткими пояснениями, представляет собой весьма ценный материал, так как он не *только собран, но и сработан*. Приведены все необходимые характеристики отдельных калибров и ряда в целом, т. е. коэффициенты вытяжки, площади, форма и размеры, расположенные в валках, закругления, диаметры валков, число оборотов и т. п.

Вэтом труде проведен *основной закон равенства коэффициента вытяжки* в различных частях профиля, впоследствии особенно детально разработанный проф. Тафелем в отношении истечения металла из одной части в другую. Стремление весьма строго провести этот принцип отражается на повышенном числе пропусков, характерном для этой работы. Однако следует отметить, что в этой работе особенно подробно в сравнении с другими авторами разработана калибровка *углового железа и швеллеров*. Книга издана в 1903 г. На русском языке не имеется.

„Основы калибровки валков“ Кирхберга проводят идею параболической зависимости между температурой и пластичностью металла, и в этой работе наилучшим по сравнению с другими авторами является прием *калибровки балок*, в котором параболическая зависимость наиболее ярко проведена. Книга издана в 1910 г., переведена на русский язык в „Домезе“¹.

„Калибровка валков“ Дегеца составлена в 1919 г. по предложению союза германских металлургов для пополнения скудной литературы по калибровке валков. Переведена на русский язык под моей редакцией в 1928 г. Эта работа представляет собой собрание фасонных калибровок, по свидетельству автора испытанных на многих европейских заводах и удовлетворяющих требованиям как точности размеров, так и производительности станов.

Эта работа весьма скупо освещена текстом и не претендует на оригинальную теорию калибровки. Она не содержит указаний на то, каким образом вычислены отдельные элементы калибров. Взамен того чертежи для рельс снабжены таблицами линейных размеров элементов профиля, в отдельных случаях размеры нанесены неполностью на самих чертежах. В таком виде калибровка может оказать помощь лишь опытным калибровщикам или лицам, хорошо усвоившим приемы теоретической калибровки.

„Калибровка“ проф. Тафеля, вышедшая 3-им изданием в 1925 г., издана на русском языке под моей редакцией в 1930 г. Эта книга представляет собой развитие идеи взаимного влияния соседних частей профиля, подвергавшихся различному давлению. Взаимная связь частей профиля приводит к некоторой средней вытяжке, как результат „натуральных“ вытяжек каждой части профиля. С этой точки зрения освещаются явления утяжки металла, незаполнения или переполнения отдельных частей калибра.

¹ Перевод при переиздании требует исправлений.



Эта весьма важная идея подробно развивается в книге и служит темой его прежних и дальнейших, публикуемых в периодической литературе работ. Из фасонных профилей автором лучше других разработана калибровка полосового и таврового железа, а также определение *высоты заготовки для разрезающего калибра*.

Метод Тафеля — путем нахождения средней вытяжки определить утяжку флянцев — встречен в литературе с большим интересом. Пользуясь этим методом, автор со своими учениками разрабатывает также вопрос о размере притуплений при калибровке полосового железа. Приложение этого метода к определению размеров заготовки, поступающей в разрезающий калибр, изложен в сопоставлении с методом Эжелюнда в статье Тафеля и Вагенера „О заполнении калибров“, реферированной в „Домезе“ (1930 г. № 14).

Тафель на опытах, проведенных на опытном стане Высшего Технического училища в Бреславле, убедился в достаточной точности этого метода.

Из приложенного видно, что каждое из упомянутых выше сочинений не охватывает всех важнейших профилей, за исключением устаревших работ Жеза и Брово, и ни одно не может служить полным руководством при изучении основ калибровки начинающими или учащимися с тем, чтобы попутно дать им и методику проведения самого расчета калибров. Это побудило меня составить *недостающее руководство для изучения основ теоретической калибровки*.

Оно составлено на основании изучения всех вышеприведенных сочинений, из коих *выбраны наиболее методично разработанные калибровки* и обработаны с некоторой дозой критики. Это руководство охватывает как нефасонные, так и фасонные профили.¹

Попутно мною сделаны некоторые дополнения, о которых отчасти я упоминал выше, не имеющие места у других авторов.

Из других дополнений укажем следующие:

1. Предпослана теоретическая часть, стремящаяся осветить процесс деформации металла в валках, чтобы читатель мог более сознательно отнестись к усвоению методов калибровки.

2. Предложен метод калибровки блюминга, сопровождающейся контролем мощности отдельных пропусков и производительности его.

3. Разобран пример калибровки двух групп непрерывного заготовочного стана и предложен метод калибровки непрерывных станов.

4. Дана таблица для определения размеров последних трех калибров круглого железа ($\varnothing 5-80$ и проволоки), составленных на основании разобранных в литературе данных и по материалам заводских калибровок.

5. Дан график для приблизительного определения коэффициента пропорциональности в формуле Жеза в зависимости от толщины прокатываемой полосы и диаметра валков.

6. Дана некоторая увязка калибровки с организацией стана.

Переходя к рассмотрению проблем практической калибровки, прежде всего отметим еще раз, что под практической калибровкой мы отнюдь не разумеем калибровки по чутью, калибровки по готовым шаблонам или калибровки, проводимой практиком-калибровщиком. Как ясно из самих задач или целей, стоящих перед практической калибровкой, она требует для успешного ее проведения *хорошей теоретической и практической подготовки и хорошего знания условий работы стана и его об рудования*. В основе практической калибровки должно лежать особенно отчетливое представление о процессе деформации и прокатном деле в целом.

¹ Калибровка недостающих фасонных профилей, надеюсь, будет выпущена мною дополнительно.

Поэтому мы имеем весьма большое число печатных работ, затрагивающих и трактующих проблемы практической калибровки.

Остановимся вкратце на этих проблемах и их отражении в литературе.

Проблема практической калибровки

1. Наименьшее число калибров в данных условиях производства и их размещения в клетях.

Эта проблема чрезвычайной практической важности приводит при правильном решении ее:

а) к минимальному расходу энергии вследствие лучшего использования пластичности и уменьшения расхода на холостой ход;

б) повышению производительности стана и снижению себестоимости производства;

в) понижению расхода на валках и повышению их коэффициента использования до перегочек вследствие более высокой пластичности;

г) понижению расходов на их переточку и перевалку и т. д.

Но она требует изучения мощности отдельных пропусков для максимального использования мощности двигателя.

2. Выравнивание мощности отдельных пропусков для упразднения пиковых перегрузок мотора.

Это также требует изучения нагрузки мотора по пропускам.

Вопрос об определении мощности отдельных пропусков расчетом является для калибровщика весьма важным, так как позволяет оценить и выявить таковые нагрузки в проектируемой им калибровке или в действующей и подлежащей изменению.

Существующие методы расчета мощностей или расхода энергии в каждом пропуске, как я имел случай показать в своей работе „Расход энергии и определение мощности двигателей“, для этой цели совершенно неудовлетворительны. Мною в упомянутой работе предложен простой метод решения этой задачи, достаточно точный для только что указанной цели.¹

Конечно, решение проблемы о минимальном числе пропусков стоит не только в связи с мощностью двигателя, но зависит также и от ряда других обстоятельств: диаметра валков, допускающих работу при рациональных углах захвата, приемлемости насечек, дифференциации стана и возможности требуемого размещения калибров в клетях, износа валков, допусков в размерах готового профиля и т. д.

3. Правильное положение нейтральной линии профиля. Этот вопрос имеет большое значение в отношении напряжений в металле и в особенности в отношении расхода энергии и мощности пропусков. Особую остроту он приобретает в станах трио для сопряженных калибров, где невозможно обойтись без серьезных погрешностей в этом отношении.

4. Правильное расположение калибров на валках для лучшего использования их полотна. В этом отношении интересна статья Крамера „Использование холостых калибров“, помещенная в переводе в журнале „Домез“ 1930 г., № 3 (9), стр. 137 — 144.

5. Согласование работы отдельных клетей с целью максимального использования стана на основе хронометража (метод Адамецкого).

6. Приспособление калибровки к данной исходной заготовке и возможному числу пропусков. В этом отношении можно рекомендовать метод Торкара, примененный им к калибровке балок и рельс. Перевод первой статьи Торкара помещен в „Домезе“ (1929 г. № 3 — 4, стр. 77 — 83), второй — будет помещен в одном из ближайших номеров.

7. Приемы для увеличения продолжительности службы валков, удобной их переточки и т. п. Сюда относятся, между прочим, распространяющееся в последнее время применение косого расположения калибров.

¹ Эта работа в настоящее время мною пересмотрена и дополнена для второго издания.

8. Обжимные клетки сортовых станов должны давать максимум процент лей из одного наименьшего бьюмса с минимальным комплектом калибров. В непрерывных черновых станах при этом жертвуют правильностью в градации коэффициента вытяжки ради выпуска большого числа размеров нужных для чистового стана профилей.

9. Приспособление калибровки к наличному качеству металла, к требованиям, предъявляемым к готовому продукту, к имеющемуся механическому оборудованию, числу клетей, длине и диаметру валков, числу оборотов, мощности двигателя, работе печей, квалификации персонала и т. п.

10. Выбор коэффициента вытяжки, расположения замков, закруглений, выпусков и т. п.

Указанные проблемы практической калибровки находят свое отражение в многочисленных статьях, описывающих особенности калибровки того или другого сорта в условиях отдельных заводов.

Все эти вопросы практической калибровки, в какой мере это было возможно, попутно освещаются нами в предлагаемой работе.

Очерченное выше современное состояние науки о калибровке валков, хотя далеко не исключает еще необходимости в опытности мастера, однако дает возможность ознакомившемуся с ней легко ориентироваться в приемах калибровки и создает условия, благоприятствующие быстрому прогрессу его в этой области.

Предлагаемая книга не претендует на то, что читатель при помощи ее вполне овладеет искусством калибровщика. Она имеет своей задачей путем выяснения, насколько это возможно при современном состоянии науки, причинной связи явлений прокатки, пролить читателю свет на приемы калибровки и осветить общие методы расчета последовательных калибров в условиях производства, чтобы дать ему возможность, не имея коллекций вырезов, спроектировать первый вариант калибровки, в дальнейшем подлежащий исправлению в процессе работы.

Усвоение прочитанного может облегчить также критическое отношение к действующим калибровкам и их переработки сообразно с условиями производства.

ЧАСТЬ I

ПРОЦЕСС ДЕФОРМАЦИИ МЕТАЛЛА В ВАЛКАХ

ГЛАВА I

АНАЛИЗ ДЕЙСТВИЯ ПРОДОЛЬНЫХ И ВЕРТИКАЛЬНЫХ СИЛ

Пусть болванка захвачена вращающимися валками, как показано на фиг. 1.

Металл увлекается между валками трения T , возникающими между поверхностями металла и валков во всех точках их соприкосновения вследствие сжимающего действия вращающихся валков.

В какой-либо точке D валок и металл действуют друг на друга, возбуждая нормально направленные силы N .

Сила N возбуждает силу трения.

$$T = f \cdot N$$

(a)

касательно направленную к валку в точке D , где f есть коэффициент трения валка по металлу.

Равнодействующая сил N и T равна силе P .

Обозначим угол, составленный направлением сил N и P , через γ .

Очевидно:

$$T = N \operatorname{tg} \gamma$$

(b)

Сопоставляя равенства (a) и (b), находим, что $f = \operatorname{tg} \gamma$, поэтому угол γ назовем углом трения.

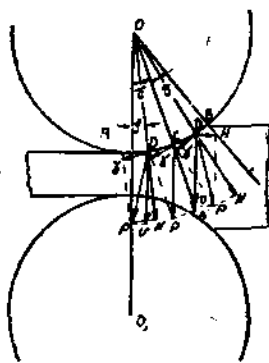
При постоянном коэффициенте трения, очевидно, угол γ не зависит от величины силы N ; с ее увеличением соответственно увеличивается сила трения T (по уравнению b).

Силы N и T это силы, лежащие в основе процесса прокатки. Их равнодействующая сила $P = \frac{N}{\cos \gamma}$, всегда лежащая под углом γ к направлению силы N , является силой, производящей деформацию металла.

Последняя заключается в обжатии, вытяжке и уширении, т. е. совершается в трех направлениях: вертикальном (обжатие), горизонтальном продольном (вытяжка) и горизонтальном поперечном (уширение).

Устраняя пока для большей ясности рассуждений уширение, предполагая, например, что боковые грани ручья оказывают ему сопротивление, разложим деформирующую силу P на две слагаемые силы по двум остальным направлениям деформации.

Так как металл увлекается валками в горизонтальном направлении справа налево и подвергается вертикальному обжатию, то силу P можно разложить также по указанным направлениям: на вертикальную (сжимающую) силу $V = P \cos(\alpha - \gamma)$ и горизонтальную силу $H = P \sin(\alpha - \gamma)$, вытягивающую металл. Если считать для простоты при установившемся данном процессе



Фиг. 1.

силы N и T постоянными¹ во всех точках соприкосновения металла с валками, то, очевидно, постоянной является и сила P .

Силы же H и V будут переменными в зависимости от положения точки D .

Действительно, при передвижении точки D от A к B и, следовательно, при изменении угла φ от 0° , например, до 2γ , угол φ в момент совпадения точки D с точкою C , очевидно, будет равен постоянному углу трения γ .

В этом случае направление и величина силы P совпадает с направлением и величиной силы V , и слагаемая сила H будет равна нулю, между тем как во всех остальных точках участка AC эта сила равна некоторой положительной величине, тем большей, чем рассматриваемая точка ближе к A , а на участке CB — некоторой отрицательной величине, возрастающей к точке B .

Этими силами H на участке AC металл нагнетается в валки.

Рассматриваемые силы действуют не только на поверхности соприкосновения валков с металлом, но и в глубине слоев металла вследствие междучастичного трения.



Фиг. 2.

Как выясним ниже, в точке C металл защемляется валками по всей толщине полосы и выталкивается ими вперед со скоростью, превышающею окружную скорость

валков. Поэтому угол γ можно назвать углом защемления.

Правее точки C , на участке CB , металл идет замедленно, как бы выдавливается назад.

Таким образом левее точки C мы имеем явление опережения металлом поверхности валков, как результат действия положительных сил H , а правее точки C — попятное движение металла, как результат действия отрицательных сил H .

Будем считать пока для простоты, что защемляющие силы передаются внутренним слоям металла по вертикальной линии.

Таким образом по вертикали, проходящей через точку C , будем считать, что все частицы металла имеют скорость, отвечающую окружной скорости точки C .

Пока какой-либо вертикальный слой металла в болванке не дошел до точки C , он очень трудно или ненадежно захватывается валками благодаря наличию попятного движения в металле этого слоя.

Как увидим ниже (смотри гл. II), это попятное движение можно рассматривать следующим образом: под действием трения металл захватывается валками и обжимается на некоторой глубине, на которой металл как бы ожигается, делается пластичным по отношению действующих усилий, в то время как центральные части болванки не деформируются, остаются как бы „твердыми“ по отношению к действующим силам и, следовательно, служат как бы упругой подкладкой для пластичных слоев, прилежащих к верхнему и нижнему валкам.

Эта упругая центральная часть болванки, следовательно, движется с несколько меньшей скоростью, чем упомянутые пластичные слои, движущиеся в поверхности соприкосновения с валком почти с окружной скоростью прилежащих точек поверхности валков.

Это отставание в скорости центральных слоев болванки и представляет собою „попятное движение“ металла.

¹ Сила N , отнесенная к единице поверхности валка в соприкосновении с металлом, есть удельное давление металла на валок. Последнее определяется сопротивлением металла деформации, остающимся, можно считать, постоянным во всех фазах элементарного процесса (на участке AB). Отсюда постоянство силы N . Если считать, что коэффициент трения также остается во всех фазах элементарного процесса постоянным, то сила T остается постоянной.

В точке C оба „ожиженных“ пластичных слоя, прилегающие к обеим поверхностям валков, приходят в соприкосновение и образуют как бы сплошной пластичный слой металла во всю толщину болванки, „твердый“ же центральный слой металла здесь как бы выклинивается на нет.

Как только этот пластичный слой вступает в область левее точки C , металл, прочно зашлемленный валками, устремляется вперед, оставаясь пластичным до выхода за линию центров валков. Рассматривая поведение следующих друг за другом вертикальных слоев металла в области деформации, мы заключаем, что в вертикальной плоскости, проходящей через точку C , металл растягивается, как на разрывном прессе, в противоположные стороны, при чем иногда посередине прутка образуются пустоты, так называемые „скворечники“ (фиг. 2).

Роль зажимов здесь играют „жесткие“, т. е. не деформированные части прокатываемой полосы вне действия деформирующих сил.

При *неустановившемся* процессе, т. е. когда болванка только задается в валки, она может быть надежно захвачена валками только при условии, что угол захвата φ меньше угла трения γ , т. е.

$$\varphi < \gamma$$

При условии $\varphi = \gamma$ сила, нагнетающая металл в валки, отсутствует, т. е. $H = 0$, и теоретически прокатка может не начаться, ибо валки могут не втянуть металла между своими движущимися поверхностями.

Следовательно, только если каким-либо образом, например, искусственно, повысить коэффициент трения и тем самым увеличить силу T , металл будет втянут в валки, так как увеличение f при постоянстве N делает $\varphi < \gamma$, т. е. получается условие, достаточное для осуществления захвата металла валками. Сказанное наглядно уясняется на фиг. 3.

Из фиг. 3 ясно, что если величина силы трения T нормальна, то при φ равном γ , сила H , как мы видели выше, равна нулю, если сила трения искусственно повышена посредством увеличения коэффициента трения при неизменной силе N , то H больше нуля и, следовательно, металл надежно захватывается валками.

Чем медленнее вращаются валки, т. е. чем меньше окружная скорость их, тем надежнее металл захватывается валками на участке BC .

Недавние исследования Тафеля и Шнайдера¹ показали, что при окружной скорости выше 2,5 м в секунду захват металла валками вполне надежен только на участке AC , т. е. при угле захвата, равном или меньше γ .

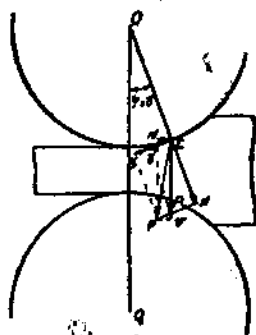
Возвратимся к рассмотрению фиг. 1.

Если $\varphi > \gamma$, т. е. точка D передвигается правее точки C , то, очевидно, горизонтальная слагающая H силы D , постепенно возрастающая по абсолютной величине, имеет отрицательное значение, т. е. будет силой, *выталкивающей* металл из валков. В этом случае при *неустановившемся* процессе прокатки теоретически может не начаться.

Из изложенного видно, что для надежности захвата болванки валками, т. е. начала прокатки, необходимо теоретически выполнение условия $\varphi < \gamma$, т. е. угол захвата должен быть меньше угла трения.

Но если мы будем рассматривать *установившийся* процесс, то раз начавшаяся прокатка может осуществляться при предельном угле захвата $\varphi = 2\gamma$.

Действительно, разделив угол $\varphi = 2\gamma$ пополам, получаем точку C (фиг. 1); в точках, расположенных симметрично относительно C , вытягивающие



Фиг. 3.

¹ Stahl und Eisen, 1924 г., 305—309 стр.

силы H будут приблизительно равны по величине и противоположны по знаку, т. е. взаимно уравниваются.

Если $\gamma < \varphi < 2\gamma$, то превалируют положительные силы H и прокатка осуществляется.

Если $\varphi > 2\gamma$, то превалируют отрицательные силы H и прокатка становится невозможной: валки или скользят по металлу, или иногда разрывают его, как на разрывном прессе.

Подобный результат выведен математически проф. Родзевич-Белевичем и Зедлячек¹ на основе несколько иных рассуждений.

Если бы был известен коэффициент трения пластичного металла о валки, то можно было бы вычислить предельный угол захвата в обоих случаях.

К сожалению, этого мы не знаем.

Практически считается, что предельный угол захвата в установившемся процессе $\varphi = 32^\circ$, но более надежным считается $\varphi = 20^\circ$.

Хирст² дает как максимум угол захвата 30° ; Жез в своей книге о прокатке дает 22° ³.

По исследованиям Зальцбренера на заводе Bismarkshütte в Верхней Силезии первая цифра относится к насеченным валкам, вторая к гладким.

К этому же выводу при одят опыты В. Тафеля и Е. Шайдера⁴.

Крамер для гладких валков дает угол захвата от $22,5$ до 24° и для насеченных валков от 30 до 34° ⁵.

Найдем отсюда при $\varphi_{\max} = 32^\circ$ максимум коэффициента трения:

$$f = \operatorname{tg} \frac{22^\circ}{2} = 0,1945.$$

В момент захвата $f = \operatorname{tg} 22^\circ = 0,404$.

По данным Рени коэффициент трения в холодном состоянии слегка смазанного железа о чугун зависит от нагрузки:

Нагрузка кг/см ²	8,8	18,8	26,2	36,8	39,4	47,3	55,9
Коэфф. трения	0,17	0,32	0,35	0,37	0,38	0,43	заедание

Коэффициент трения зависит также от материала валков: он оказывается наибольшим для обыкновенных чугунных валков, несколько меньшим для валков закаленного чугуна и наименьшим для стальных валков.

По данным Морена коэффициент трения сухого железа по чугуну в начале движения 0,19, во время движения — 0,18.

По данным Флишера⁶ коэффициент трения понижается с увеличением скорости трущихся поверхностей по формуле:

$$f = \frac{0,33}{1 + 1,08 V},$$

где V — скорость в метрах в секунду.

Коэффициент трения раскаленного пластичного металла о чугун считается ниже приведенных данных.

Это подтверждено опытами Н. Метца⁷.

С другой стороны давление при прокатке весьма велико (иногда выше 1000 кг на см², вследствие чего коэффициент трения возрастает; наконец, коэффициент трения увеличивается благодаря шероховатости валков, чем

¹ Ж. Р. М. О-ва 1912, стр. 644 и Н. Sedlaczek, Stahl und Eisen, 1927, Н. 1, 27

² Stahl und Eisen 1901 г. 96 стр.

³ L. Geuze. Traité théorique et pratique du laminage du fer et de l'acier.

⁴ Loc. cit.

⁵ Stahl und Eisen 1927 г., Н. 14., стр. 583 Walzenschärfen

⁶ Проф. С. П. Гомеля. Тормоза грузоподъемных машин.

⁷ R. d. Mét. 1926 г., № 1-2.

и можно объяснить фактическое увеличение коэффициента трения до 0,404 по вышеприведенному вычислению в момент захвата.

Коэффициент трения более близок к нормальному при $\varphi=22^\circ$, как предельном угле захвата в установившемся процессе.

$$f = \operatorname{tg} \frac{22^\circ}{2} = 0,196.$$

При угле захвата больше 22° делают насечку на поверхности валков для увеличения коэффициента трения.

В. Тафель и Е. Шнайдер¹⁾, исследуя вопрос об угле захвата в зависимости от скорости прокатки, пришли к выводу, изображенному на прилагаемой диаграмме (фиг. 4).

Из диаграммы видно, что при угле захвата выше $20-22^\circ$, например при $30-31^\circ$, могут надежно захватывать только насеченные валки при скоростях прокатки менее 2 м/сек.

Гладкие валки надежно захватывают при 22° только при скоростях ниже 1,5 м в секунду.

При больших скоростях надежный захват металла обеспечивается углом не выше 11° . При очень шероховатых или насеченных валках можно принять для разных скоростей надежным угол захвата, отмеченный нами пунктиром на фиг. 4.



Фиг. 4.

Отсюда можно считать подтверждающим наше положение, что угол трения или защемления γ равен приблизительно $10-11^\circ$.

Если вследствие чрезмерного угла захвата в неустановившемся процессе металл не захватывается валками, то увеличивают коэффициент трения, бросая в ручей песок, что часто оказывает желаемое действие.

Вясним, какие обстоятельства благоприятствуют, вопреки теоретическому выводу, захвату металла валками во время впуска болванки при $\varphi > \gamma$ до 2γ .

По наблюдениям Пуппе давление при впуске полосы по абсолютной величине больше, чем при установившейся прокатке.

Таким образом, удельное давление валка на металл достигает при впуске максимума.

Вероятно, это повышенное давление стоит в связи с повышением коэффициента трения, каковое можно предполагать на основании вышеприведенных данных Рени. Кроме того, на углах полосы, где прежде всего металл встречается с валками, температура его ниже, чем в других местах, и, следовательно, удельное давление больше, чем при установившейся прокатке. Ниже мы увидим, что при впуске часто металл захватывается не одновременно во всех частях профиля, вследствие чего в металле возникают высокие напряжения динамического характера, сильно повышающие давление металла на валок.

Наконец, шероховатость и насечка поверхности ручья могут значительно увеличить коэффициент трения.

Изложенный анализ действия продольных и вертикальных сил деформации металла в валках приводит нас к тому, что процесс прокатки

¹ Stahl und Eisen 1924 г. стр. 305—309

нельзя уподоблять процессу только волочения или толькоковки или штампования; он представляет собою сложный комплекс этих обоих процессов, усложненный явлениями трения и вращения обрабатываемых поверхностей, которые одновременно являются движущей силой.

Мы видим из этого анализа, что деформация металла в различных участках охвата металла валками имеет различный характер, при чем мы выяснили, что некоторое сечение захваченной полосы является критическим, вне которого истечение металла имеет противоположные направления. По ту и другую сторону критического сечения процесс деформации металла уподобляется или процессу волочения (задняя часть деформируемой области, участок СВ) или процессу штампования (передняя часть деформируемой области, участок АС), направленному горизонтально.

В тех случаях, когда угол захвата меньше γ , процесс прокатки уподобляется процессу штампования. Выходящий из-под валков продукт прокатки имеет выпуклый торец, что обычно и наблюдается при штамповании и при прокатке сравнительно тонких полос и листов. Захватываемый под углом меньше γ металл сразу защемляется и на пути до линии центров валков (т. е. выхода полосы из „силового поля“) идет, прогрессивно ускоряясь и испытывая трение о поверхность валков, при чем относительная скорость „штампования“ равна скорости опережения и обычно составляет не больше 20%, окружной скорости валков, чаще же не выше 5%.

При больших скоростях штампования и при недостаточной пластичности или недостаточной однородности металла при этом возможно появление поверхностных рванин на выходящем из-под валков продукте прокатки.

Из произведенных Н. Метцом¹ опытов над истечением металла можно вывести, что для угла захвата ниже γ линии Голленберга имеют уклон вперед, а не назад, точно также эти опыты констатируют выпуклость переднего торца прокатываемых в этих условиях полос.

В тех случаях, когда угол захвата больше γ , в первый момент деформации, пока передняя кромка полосы не дошла до точки С, полоса как бы проволочивается трущимися поверхностями, при чем внутренние частицы металла отстают от внешних, имея на этом участке скорость ниже окружной скорости валков.

Прутки Голленберга принимают изогнутый назад вид, и задний торец прокатанной полосы оказывается выпуклым, в то время как передний торец, как увидим ниже, имеет вогнутую поверхность, что подтверждается результатами опытов Н. Метца.

Последний полагает, что „железо увлекается со всех сторон металлом, прилегающим к поверхностям соприкосновения“.

Ожесточенная валками ближайшая поверхность металла проволочивается за собою внутреннюю, более пластичную массу¹ в суживающееся очко ручья до тех пор, пока в точке С металл не будет прочно защемлен, чтобы в дальнейшем играть роль давящего пуансона и тем самым свести вторую стадию деформации к горизонтальному штампованию.

Метц на основании исследования передвижения металла внутри полосы при прокатке путем наблюдения деформации вделанных в полосу винтов приходит к заключению, что „в первой части дуги захвата центральные частицы текут в направлении, обратном направлению прокатки, во второй части — все они движутся в направлении движения полосы. Это двойного характера движение является предпочтительным для деформации центральных частиц“.

Этот вывод Метца находится в полном согласии с нашей теорией.

Во время этой второй стадии деформации на пути АС выпуклые назад линии Голленберга более или менее выпрямляются.

¹ Вопросы металлургии, 1926 г. Метц „Опытное исследование горячей прокатки железа“. Перевод В. Щировского.

Степень выпрямления линий Голленберга может зависеть от степени их первоначальной кривизны, которая, в свою очередь, зависит, вероятно, от угла захвата, диаметра валков, толщины прокатываемой полосы и проч.

При достаточно резкой выраженности линий Голленберга в первой стадии деформации, деформация второй стадии может не выпрямить их, и тогда передний торец полосы окажется изогнутым, что обычно и наблюдается при сильных обжатиях.

В виду того, что описанная двойственность процесса деформации ускользала от внимания лиц, занимавшихся изучением процесса прокатки, весьма распространена ошибка экспериментаторов, обычно проводящих наблюдения над процессами с малыми углами захвата и малыми давлениями, распространять результаты этих наблюдений на деформации с большими обжатиями и с большими углами захвата. Позади валков давление способствует истечению металла во все стороны, вызывая явление вытяжки, опережения, уширения, наката, вздутия полосы позади валков и т. п.

Вытяжка металла способствует трению прижатой к полосе поверхности валков.

Сила трения действует в сторону, противоположную силе Q , вследствие чего металл подвергается вытягиванию, как на разрывном прессе.

ГЛАВА II

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Прокатываемый кусок железа (болванка, слиток или вообще полоса), будучи нагрет, прежде чем принять требуемый профиль, пропускается между валками несколько раз, при чем площадь поперечного сечения его после каждого пропуска уменьшается, а длина в той же пропорции увеличивается.

Изменение размеров поперечного сечения прокатываемой полосы при каждом пропуске между валками выражается главным образом в уменьшении (обжатии) толщины ее в вертикальном направлении; в горизонтальном же направлении сечение полосы изменяется сравнительно мало в сторону „уширения“ ее.

Обжатие за один пропуск не может достигать большой величины и зависит от диаметра валков и угла захвата полосы φ (фиг. 5). Чем меньше угол φ , тем легче полоса захватывается валками и увлекается ими, но тем меньше „давление“ $\Delta - \delta$ или $H - h$, которое, очевидно, равно $2r(1 - \cos \varphi)$.

$$H - h = \Delta - \delta = 2r(1 - \cos \varphi) \quad (1)$$

Наоборот, чем угол φ больше, тем больше „давление“, однако при увеличении этого угла захватывание этими валками полосы становится все менее надежным и, как мы видели, при значении φ больше 32° становится невозможным.

Таким образом, величина давления за один пропуск ограничивается предельным углом захвата для данного диаметра валков; этим самым ограничивается и удлинение металла за один пропуск его в валках ($l - l_0$), определяемое приращением длины (l) полосы, вышедшей из валков, по сравнению с длиной (l_0) полосы, задаваемой в валки.

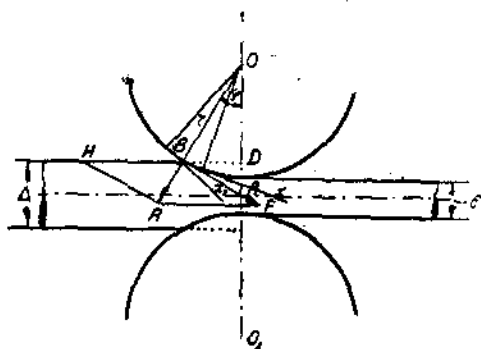
Абсолютная величина уменьшения сечения $q_0 - q_1$ и удлинения $l_1 - l_0$ в дальнейшем изложении представляет меньший интерес, чем коэффициенты уменьшения сечения и вытяжки и относительные изменения поперечного сечения и длины прокатываемых полос. Здесь q_0 — сечение штуки до пропуска и q_1 — сечение ее после пропуска.

¹ Глубже лежит центральная „жесткая“ подкладка. См. выше.

Под коэффициентом обжатия k разумеется отношение площади сечения полосы, выходящей из валков, к площади сечения полосы, зажатой в валки

$$k = \frac{q_1}{q_0}, \text{ где } q_1 < q_0$$

Под коэффициентом вытяжки μ разумеется отношение длины полученной полосы к длине заданной полосы, или площади сечения заданной полосы q_0 к площади сечения полученной площади q_1 .



Фиг. 5.

$$\mu = \frac{l_1}{l_0}, \text{ где } l_1 > l_0, \text{ или } \mu = \frac{q_0}{q_1}.$$

Так как $l_1 q_1 = l_0 q_0$, то

$$\mu = \frac{1}{k} \text{ и } k = \frac{1}{\mu}.$$

Относительное уменьшение сечения, обозначаемое через a или ε ¹

$$a = \frac{q_0 - q_1}{q_0} = 1 - k$$

На практике установилось мнение, что коэффициент вытяжки μ за один пропуск не должен превышать 2 во избежание разрыва металла.

Кирхберг пытается обосновать этот взгляд следующими соображениями.

Силы R (фиг. 5) это силы, с которыми валок давит на металл.

Они разлагаются на силы H , выжимающие металл обратно из валков, и на силы F — касательные, проталкивающие металл между валками вперед.

Кирхберг делит эти касательные силы на положительные и отрицательные в зависимости от приложения точек пересечения их A , X_1 , X_2 .

Если точки приложения этих сил лежат левее линии центров O , O_1 (например, X_2), то они отрицательны, т. е. металл не захватывается валками, не увлекается ими: если эти точки располагаются правее линии OO_1 (например X_1), то силы положительны, металл хорошо захватывается и проталкивается ими вперед.

Если точка приложения сил лежит на оси OO_1 (точка A), то силы нейтральны.

Если на металл действуют одновременно положительные и отрицательные силы, то, по мнению Кирхберга, должно произойти или скольжение валков по металлу, или металл будет разорван, если сопротивление его разрыву будет превзойдено.

Чтобы избежать разрыва заготовки, необходимо поэтому избегать появления отрицательных сил.

Исходя из этих соображений, Кирхберг определяет максимальную вытяжку, допускаемую за один пропуск без опасности разрыва металла.

Если не принимать в расчет уширения металла, то вытяжка

$$\mu = \frac{\Delta}{\delta}$$

Определим максимальное Δ в зависимости от δ и r (r — радиус валка).

Крайнее положение точки B (фиг. 5) определяется из условия, что касательная F прошла через точку A , лежащую на линии OO_1 по оси прокатываемой полосы.

¹ Последнее обозначение принято Гавриленко.

Из прямоугольного треугольника AOB находим

$$AB^2 = \left(r + \frac{\delta}{2}\right)^2 - r^2$$

С другой стороны, на основании известной теоремы имеем

$$AB^2 = OA \cdot DA = \left(r + \frac{\delta}{2}\right) \frac{\Delta}{2}$$

Отсюда, решая уравнение

$$\left(r + \frac{\delta}{2}\right)^2 - r^2 = \left(r + \frac{\delta}{2}\right) \frac{\Delta}{2}$$

находим

$$\Delta = 2 \frac{\left(r + \frac{\delta}{2}\right)^2 - r^2}{r + \frac{\delta}{2}} = \frac{2r\delta + \frac{\delta^2}{2}}{r + \frac{\delta}{2}}$$

Отсюда:

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{\Delta}{\delta} = \frac{2r\delta + \frac{\delta^2}{2}}{\delta\left(r + \frac{\delta}{2}\right)} = \frac{r + \frac{\delta}{2} + r}{r + \frac{\delta}{2}} = \\ &= 1 + \frac{r}{r + \frac{\delta}{2}} = 1 + \cos \varphi \end{aligned}$$

или μ в пределе равно 2.

Предельное значение μ получается при очень малых δ .

Чем меньше δ в сравнении с r , тем больше может быть предельная вытяжка.

Этот вывод, подтверждаемый обычной практикой, как будто подтверждает правильность совершенно произвольных допущений Кирхберга, легших в основу его: на практике, действительно, вытяжка редко превышает 2.

Однако, опасение разрыва металла, если металл хорошо раскислен, не всегда основательно.

Проф. Грум-Гржимайло приводит результаты следующего опыта, произведенного на Нейво-Алапаевском заводе. Болванка мягкого литого железа размерами 50×50 мм была заострена на строгальном станке, нагрета очень хорошо и пропущена между валками ($\varnothing 500$ мм), лежащими один на другом.

Она была раздавлена в один пропуск с 50 мм до 3, 5 мм в полосу 75 мм шириною, т. е. вытянулась в 9,5 раз, и при этом не было даже и признака рванин или трещин, между тем как и то и другое легко было получить, так как полоса прокатывалась в гладких валках и внешние боковые грани полосы подвергались свободному уширению.

Этот опыт вполне подтверждает тот взгляд, что благодаря пластичности металла при прокатке его позади валков создается гидростатическое давление, выжимающее металл вперед и назад и при благоприятных условиях способствующее заварке всех трещин и рванин, какие могли бы возникнуть под влиянием большой вытяжки согласно предположения Кирхберга.

В данном случае, несмотря на громадную вытяжку, угол захвата в установившемся процессе был равен только $24^\circ 6'$, т. е., если считать за нормальный коэффициент трения $f=0,176$ или, нормальный угол трения 10° ,

то в установившемся процессе нормальный угол захвата равен 20° , т. е. мало отличается от 24° , таким образом отталкивающие силы незначительно превалируют над втягивающими силами, чем и может быть объяснено отсутствие рванин в связи с явлением гидростатического давления позади валков.

Из сказанного следует, что опыт проф. Грум-Гржимайло доказывает только, что коэффициент вытяжки может быть больше 2 при условии, если угол захвата в установившемся процессе не превосходит 24° , но не доказывает возможности прокатки с вытяжкой больше 2 при больших углах захвата.

Однако можно думать, что появление рванин и трещин обуславливается не столько величиной вытяжки, сколько неравномерной вытяжкой различных частей прокатываемого профиля, что имеет место, как увидим ниже, особенно при прокатке фасонных профилей, а так же при неоднородности и плохой раскисленности металла.

Практически коэффициент вытяжки больше 2 редко встречается главным образом потому, что этого не позволяет конструкция стана и мощность двигателя, а также не всегда хорошо раскисленный и не всегда однородный металл.

Величина угла захвата определяется из обжатия по формуле:

$$\Delta - \delta = 2r(1 - \cos \varphi)$$

Точно также при данном угле захвата из той же формулы определяется максимальное обжатие $\Delta - \delta$.

В черновых валках с плоскими ручьями угол захвата φ не применяют больше $20 - 26^\circ$, чтобы не затягивать процесса прокатки вследствие плохого захвата валками.

При $\varphi = 20^\circ$ множитель $(1 - \cos \varphi)$ равен $\frac{1}{17}$, а при $\varphi = 26^\circ$ он равен $\frac{1}{10}$.

Поэтому обычно максимальное обжатие в черновых валках заключается в пределах от $\frac{1}{10}D_0$ до $\frac{1}{17}D_0$, часто берут среднюю величину $\frac{1}{14}D_0$. Здесь D_0 есть диаметр валка в глубине ручья.

Для определения величин, входящих в формулу (1) удобнее пользоваться таблицей 1 (на стр. 23).

Толщина болванки, прокатываемой в гладких валках, теоретически не ограничена, так как валки могут раздвигаться.

В ручьевых же валах раздвижение их ограничено, и согласно с этим ограничивается толщина прокатываемого слитка или болванки.

Если ручьевые валки не раздвигаются, то максимальная толщина болванки (Δ) вполне ограничивается углом захвата, а максимальная толщина выходящей из ручья полосы (δ) — глубиной выреза ручья.

Глубина выреза в теле валка не должна быть слишком большой по сравнению с диаметром валка, чтобы не ослабить прочности последнего.

Практика установила, что глубина выреза не должна быть больше $\frac{1}{8}$ диаметра.

Таким образом, диаметр тела валка в глубине ручья не должен быть меньше $D - \frac{1}{8}D$ или $\frac{7}{8}D$, где D есть средний или наружный диаметр валка; толщина же выходящей из ручья полосы, т. е. высота ручья, не должна быть больше $\frac{1}{8}D$.

Максимальная толщина болванки ($\Delta_{\max}$), которая может быть прокатываемая в стане данного диаметра, на практике считается:

$$\Delta_{\max} \leq 0,5 D$$

Это ограничение выясняется из следующего (фиг. 5).

Толщина болванки складывается, очевидно, из δ и $\Delta - \delta$

$$\Delta = \delta + (\Delta - \delta)$$

Таблица 1

φ°	$\cos \varphi$	$1 - \cos \varphi$	$\sin \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	φ°	$\cos \varphi$	$1 - \cos \varphi$	$\sin \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$
1	0,99985	0,00015	0,01745	0,01747	13	0,97440	0,02560	0,22500	0,2309
1,5	0,99966	0,00034	0,02618	0,02620	14	0,97030	0,02970	0,24190	0,2492
2	0,99939	0,00061	0,03490	0,0350	15	0,96590	0,03410	0,25880	0,2680
2,5	0,99905	0,00095	0,04362	0,0437	16	0,96130	0,03870	0,27560	0,2870
3	0,99868	0,00137	0,05234	0,0524	17	0,95630	0,04370	0,29240	0,3070
3,5	0,99813	0,00187	0,06105	0,0611	18	0,95110	0,04890	0,30900	0,3250
4	0,99756	0,00244	0,06976	0,0699	19	0,94550	0,05450	0,32580	0,3445
4,5	0,99692	0,00308	0,07846	0,0787	20	0,93970	0,06030	0,34200	0,3640
5	0,99619	0,00381	0,08716	0,0875	21	0,93360	0,06640	0,35840	0,3840
5,5	0,99540	0,00460	0,09585	0,0964	22	0,92720	0,07280	0,37460	0,4040
6	0,99452	0,00548	0,10453	0,1052	23	0,92050	0,07950	0,39070	0,4240
6,5	0,99357	0,00643	0,11320	0,1140	24	0,91360	0,08640	0,40670	0,4450
7	0,99255	0,00745	0,12187	0,1219	25	0,90630	0,09370	0,42260	0,4665
7,5	0,99144	0,00856	0,13053	0,1317	26	0,89880	0,10120	0,43840	0,4880
8	0,99027	0,00973	0,13917	0,1405	27	0,89100	0,10900	0,45400	0,5100
8,5	0,98902	0,01098	0,14781	0,1495	28	0,88300	0,11700	0,46950	0,5420
9	0,98769	0,01231	0,15643	0,1584	29	0,87460	0,12540	0,48480	0,5540
9,5	0,98629	0,01371	0,16505	0,1674	30	0,86600	0,13400	0,50000	0,5775
10	0,98481	0,01519	0,17365	0,1763	31	0,85720	0,14280	0,51500	0,6010
11	0,98160	0,01840	0,19080	0,1945	32	0,84810	0,15190	0,52990	0,6250
12	0,97820	0,02180	0,20790	0,2124					

Например: 1. Определить φ по данным: $\Delta - \delta = 40$ и $D_0 = 400$

$$1 - \cos \varphi = \frac{\Delta - \delta}{D_0} = 0,1.$$

по таблице

$$\varphi \cong 26^\circ$$

2. Определить D_0 по данным: $\Delta - \delta = 25$ и $\varphi = 22^\circ$

$$D_0 = \frac{\Delta - \delta}{1 - \cos 22^\circ} = \frac{25}{0,0728} = 344 \text{ мм.}$$

3. Определить $\Delta - \delta$ по данным: $D_0 = 300$ и $\varphi = 18^\circ$

$$\Delta - \delta = 300 \cdot 0,0489 = 15 \text{ мм.}$$

Из предыдущего знаем, что $\delta \leq \frac{1}{3}D$ и $\Delta - \delta = D_1 (1 - \cos \varphi)$, где $D_1 = \frac{2}{3}D$.

Следовательно $\Delta = \frac{1}{3}D + \frac{2}{3}D (1 - \cos \varphi)$

или

$$\Delta = D (1 - 0,66 \cos \varphi)$$

Подставляя предельный угол захвата $\varphi = 32^\circ$, находим

$$\Delta_{\max} = 0,44 D, \text{ т.е. } < 0,5 D$$

Отсюда следует, что, чем толще болванка, тем больше должен быть диаметр валков стана.

При данном диаметре валков стана прокатка осуществляется тем легче, чем меньше толщина болванки.

Если при этом δ независимо от изменения Δ остается постоянной, угол захвата φ уменьшается, так как уменьшается $\Delta - \delta$.

Уменьшение угла захвата при этом облегчает захватывание болванки, но замедляет процесс прокатки, так как уменьшается вытяжка, что видно из выражения:

$$\mu = \frac{\Delta}{\delta}$$

Поэтому для увеличения вытяжки необходимо уменьшать вместе с тем δ , т. е. глубину выреза валков.

При предельном угле захвата ($\varphi=32^\circ$) и предельной толщине болванки вытяжка, очевидно, равна

$$\mu_{\max} = \frac{\Delta_{\max}}{\delta_{\max}} = \frac{0,44 D}{0,33 D} = 1,33.$$

Если Δ и δ уменьшать на одну и ту же величину, то угол захвата φ останется почти неизменным, так как $\Delta - \delta$ останется неизменной величиной, а r очень мало увеличивается; вытяжка же, возрастает, так как одинаковое уменьшение членов неправильной дроби увеличивает значение ее.

Чтобы показать, как сильно повышается вытяжка с уменьшением Δ и δ при работе с предельными обжатиями, сделаем вычисления μ для стана с диаметром валков 400 мм (см. таблицу 2).

Таблица 2

Δ	δ	μ	D_0	φ	$\Delta - \delta$	$\frac{\Delta}{D}$
176	133	1,33	267	32°	43	0,44
160	117	1,37	283	—	"	0,40
150	107	1,40	293	—	"	0,375
140	97	1,44	303	—	"	0,350
130	87	1,50	313	—	"	0,325
120	77	1,56	323	$29^\circ 57'$	"	0,300
86	43	2,0	357	$28^\circ 22'$	"	0,215



Фиг. 6.

Очевидно

$$\Delta_{\max} = 0,44 \cdot 400 = 176 \text{ мм};$$

$$\delta_{\max} = \frac{1}{3} \cdot 400 = 133 \text{ мм};$$

$$\mu = \frac{176}{133} = 1,33,$$

$$\Delta - \delta = 176 - 133 = 43 \text{ мм}.$$

Уменьшение Δ и δ на 56 мм повлекло за собою увеличение μ до 1,56 и уменьшение φ до $29^\circ 57'$.

Последнее определено из уравнения

$$\Delta - \delta = D_0 (1 - \cos \varphi);$$

$$43 = 323 (1 - \cos \varphi).$$

$$\cos \varphi = 0,8665;$$

$$\varphi = 29^\circ 57'$$

Из сказанного следует, что с целью ускорения прокатки полезно обжимать болванки на более крупных станах и избегать катать болванки предельной толщины для данного стана.

Чем тоньше болванка, тем быстрее, т. е. с большим μ , может идти прокатка ее в данном стане.

Впрочем, для каждого диаметра валков имеется своя минимальная толщина болванки, отвечающая наилучшим условиям работы, как это выясним ниже.

Если нанести данные таблицы 2 на диаграмму (фиг. 6), то ею можно пользоваться для выбора H в зависимости от желательного μ .

Так, например, если бы мы пожелали вести прокатку с начальной вытяжкой $\mu=1,7$ в валках 400 мм, то должны были бы взять толщину болванки не больше $0,26 \cdot 400 = 104$ мм. Подобные кривые можно составить и для других диаметров валков.

Отметим, что болванка, прокатываемая в данном стане в несколько пропусков, не только уменьшается в толщине, но обычно имеет неоднаковое во всех ручьях обжатие ($\Delta - \delta$), постепенно уменьшающееся.

По мере того, как полоса приближается к окончательному размеру, разница между Δ и δ становится все меньшей и меньшей во избежание значительного уширения металла и получения неправильного профиля, а также и по другим причинам, о которых будем говорить ниже.

Поэтому угол захвата φ и коэффициент вытяжки μ при прокатке полосы в данном стане не являются постоянными, но по большей части постепенно уменьшаются, и в последних пропусках Δ достигает очень малых величин по сравнению с D до $0,01 D$ и меньше.

Коэффициент вытяжки уменьшается от 2 до 1,04. При прокатке болванок предельной толщины в данных валках, как мы видели выше, максимальная вытяжка в начале прокатки равна 1,33.

В обжимных станах в дальнейших пропусках, поскольку Δ является в них уже не предельной, она часто несколько вырастает, с целью ускорения прокатки, как показано было в таблице 2.

В подготовительные станы обычно поступает полоса значительно тоньше предельной толщины и здесь она получает значительную вытяжку с постепенно уменьшающимся коэффициентом вытяжки по направлению к чистовому ручью, как было указано выше.

Остановимся на тепловой стороне процесса прокатки для выяснения роли диаметра валков и числа оборотов их.

Выходящая из нагревательной печи болванка содержит некоторое количество тепла Q_0 , пропорциональное объему болванки.

Вследствие излучения, конвекции и соприкосновения с холодной поверхностью валков, часть этого тепла Q_1 , пропорциональная наружной поверхности полосы и времени, теряется и болванка охлаждается.

С другой стороны, подвергаясь деформации, болванка принимает некоторое количество тепла Q_2 , эквивалентное затраченной на деформацию работе, а именно: 1 калорию на каждые 428 килограмметра работы деформации.

Охлаждение, следовательно, равно $Q_1 - Q_2$.

Чем больше давления в обжимных валках, тем медленнее происходит охлаждение болванки и тем выше коэффициент полезного действия работы деформации, так как при высоких температурах пластичность металла значительно больше чем при более низких температурах.

Если же давление в обжимных валках слишком мало, то Q_1 значительно превышает Q_2 и болванка быстро охлаждается, вследствие чего возрастает работа деформации, и значительные деформации в дальнейшем уже становятся затруднительными или даже невозможными.

Так как валки большого диаметра, применяемые для обжима болванок, имеют малое число оборотов в минуту, то с уменьшением величины обжатия прокатка сильно затягивается.

Во избежание этого следует избегать задавать в валки болванки предельной толщины.

Кроме того, после энергичного обжатия болванки ее следует передать на другой стан с меньшим диаметром валков, но с большим числом оборотов, при чем диаметр валков должен быть рациональных размеров сообразно толщине прокатываемой полосы, а увеличение числа оборотов, вызываемое необходимостью ускорить движение тонкой и длинной полосы, сообразуется с диаметром валков.

Чем меньше поперечное сечение полосы, тем больше отношение поверхности к объему ее, следовательно тем больше относительная потеря тепла Q_1 в единицу времени.

Поэтому следующий за обжимным подготовительный стан должен обладать возможно большим числом оборотов и осуществлять возможно большую вытяжку, насколько это позволяет температура металла, мощность двигателя и профилировка полосы.

В то время, как обжимной стан стремится по возможности быстро уменьшить сечение болванки, сохраняя ее примитивную квадратную или прямоугольную форму, подготовительный стан имеет своей задачей кроме того подготовить требуемый профиль продукта.

За подготовительным станом следует отделочный стан, в котором полоса приобретает вполне точные размеры и профиль.¹

Иногда последний стан имеет еще большее число оборотов и соответственно меньший диаметр валков по тем же соображениям.

Иногда, например, в более старых установках обжимные и подготовительные и чистовые валки монтируются в одном стане и имеют, следовательно, одно число оборотов.

Это в большинстве случаев чрезвычайно нерационально, так как если стану придать малое число оборотов, отвечающее условиям работы обжимной клетки, то будет крайне непродуктивная и нерациональная работа следующих клеток; если же ему придать большее число оборотов, отвечающее условиям работы чистовой клетки, то в обжимном стане это вызвало бы далекое выбрасывание короткой болванки и замедление в обратной подаче ее в валки, т. е. значительное понижение производительности стана, не говоря о других неудобствах, усиливающих нерациональность подобной установки.

В более новых установках поэтому дифференцируют станы, ставя отдельные станы в две, три или четыре линии с разным числом оборотов и разными диаметрами валков.

Благодаря этому, между прочим, калибровка ручьев каждой линии может иметь самостоятельную градацию коэффициентов вытяжки, если это в интересах процесса прокатки.

Иногда на практике в обжимных и подготовительных ручьях придерживаются приблизительно одинакового коэффициента вытяжки.

Это нерационально, так как, если коэффициент выбран малым ради предотделочных ручьев, то прокатка крайне затягивается и требует благодаря охлаждению полосы большого расхода энергии; если же, наоборот, коэффициент выбран большим ради обжимных ручьев, то ручьи подготовительного стана несоразмерно быстро изнашиваются и требуют переточки после непродолжительной службы.

Отсюда следует целесообразность выбирать самостоятельные переменные коэффициенты вытяжки для отдельных линий, чтобы тем самым достигнуть значительного уменьшения расхода энергии и ускорить процесс прокатки.

При этом в каждом ручье нужно стремиться к максимальным коэффициентам вытяжки, какие допускаются состоянием и качеством металла, размером валков, профилем полосы и мощностью двигателя.

Чем проще окончательный профиль и чем тверже материал валков, тем больше может быть коэффициент обжатия или вытяжки.

Практика выработала следующие коэффициенты вытяжки:

Для фасонных профилей:

Для отделочных валков из твердой стали

$\mu = 1,1$ до $1,2$ или коэффициенту приращения длины; $f = 10-20\%$.

Для черновых валков профилей **L**, **I**, **C** и т. п.

$\mu = 1,2-1,3$; $f = 20-36\%$.

Для черновых валков **L**, **U**, **W**, **Z** и т. п.:

$\mu = 1,3-1,4$; $f = 30-40\%$.

¹ Между черновыми или обжимными и подготовительными калибрами нельзя провести резкой границы: одни и те же калибры могут быть частично размещены и в обжимном и в подготовительном стане. В этом деле решающую роль играет согласование работы обоих станов.

Для обжимных валков:

$$\mu = 1,2 - 1,85; f = 20 - 85\%$$

б) Для сортового железа, особенно для быстростынувшего мелкосортного, коэффициенты вытяжки благодаря простоте формы следует брать больше, именно:

Для чистовых валков:

$$\mu = 1,14 - 1,15; f = 14 - 15\%$$

Для подготовительных валков:

$$\mu = 1,14 - 1,15; f = 14 - 15\%$$

Для квадратных и овальных ручьев:

$$\mu = 1,2 - 1,8; f = 20 - 80\%$$

Для стрелчатых и ромбических ручьев:

$$\mu = 1,4 - 1,6; f = 40 - 60\%$$

Для полосового и обручного железа в черновых и подготовительных ручьях:

$$\mu = 1,3 - 1,9; f = 30 - 90\%$$

ГЛАВА III

ОПЕРЕЖЕНИЕ И ПОПЯТНОЕ ДВИЖЕНИЕ

Опережение и попятное движение металла при прокатке представляет собою до сих пор очень мало изученное явление.

Анализ этого явления для случая прокатки прямоугольных профилей, составляющий содержание настоящей главы, позволяет установить зависимость между опережением и попятным движением металла, с одной стороны, и главнейшими условиями прокатки — с другой.

Под скоростью прокатки разумеется скорость выходящей из валков полосы.

В дальнейшем будем обозначать ее через V в метрах в секунду.

На практике принято за таковую принимать окружную скорость среднего диаметра валков

$$D_m = \frac{D_n + D_n}{2}$$

Таким образом, при n оборотах валков в минуту

$$V = \frac{\pi D_m n}{60} \quad (1)$$

Однако, вычисленная таким образом скорость прокатки не соответствует действительности при конечной толщине полосы h , ибо частицы металла держатся трением в валках и, по крайней мере, в месте ущемления их поверхностью валков обычно движутся со скоростью последних¹.

Если допустить, что частицы металла как бы прилипают к поверхности валка во время прокатки, а к ним, в свою очередь, прилипают соседние частицы металла по всему поперечному сечению pq , то, очевидно, горизонтальная скорость разных точек этого сечения должна быть разная, именно — пропорциональная расстоянию данной точки от центра.

¹ Блясс и Тафель, исходя из представления об отсутствии скольжения между металлом и валками, выводят нижеприведенную формулу для вычисления скорости прокатки.

Предполагая для простоты рассуждений, что $d_s = d_k$ и $D_s = D_k$, очевидно, получим для точки k максимальную горизонтальную скорость в направлении прокатки, соответствующую диаметру, как бы нарощенного вследствие прилипания частиц валка D_s или D_k , т. е. D_m .

Если бы при равных диаметрах валков мы имели полосу, мысленно разрезанную горизонтальной плоскостью, проходящей через линию AB , и при этом представили бы себе, что по этой плоскости частицы верхней и нижней половины ничем не связаны между собою и могут идеально скользить друг по другу без трения, то при условии прилипания мы наблюдали бы наививание верхней полосы на верхний валок между гребнями, а нижней половины — на нижний валок.

Очевидно, частицы, проходящие через p и q , т. е. слои pp_1 и qq_1 , двигаются со скоростью, пропорциональной диаметру валков d_s и $d_k = d$, а частицы, проходящие через k , т. е. слои kk_1 , — со скоростью, пропорциональной $D_m = d + h$.

Если бы каким-нибудь образом, например, при помощи направляющих, мы заставили полосы все время выпрямляться и идти горизонтально в направлении BA , то мы вызвали бы в обеих частях полосы перемещение частиц металла, направленное на выравнивание возникающих при этом растягивающих (в слоях pp_1 и qq_1) и сжимающих (в слоях kk_1) напряжений: в результате слои pp_1 и qq_1 удлинятся, а слои kk_1 укоротятся.

Если развернуть без растяжения и сжатия слоев загнутую по по-

верхности валка, прокатанную в единицу времени часть металла pp_1 , kk_1 , то получим трапецию, где

$$pp_1 = \pi d \frac{\varphi}{360} \quad \text{и} \quad kk_1 = \pi(d+h) \frac{\varphi}{360}$$

или pp_1 пропорционально d , а kk_1 пропорционально $d+h$ ¹.

Вследствие удлинения pp_1 и укорочения kk_1 при постоянстве массы металла в бруске, трапеция превратится в равнобедренный прямоугольник той же высоты, длиной tt_1 . Очевидно tt_1 , как средняя линия трапеции, пропорциональна

$$\frac{d+(d+h)}{2}$$

или

$$d + \frac{h}{2}$$

То же самое получим в отношении нижней половины полосы.

¹ Здесь — угол, на который повернулся валок в единицу времени.

Итак, скорость той и другой, или общая скорость полосы, должна быть пропорциональна.

$$d + \frac{h}{2}.$$

т. е. скорость полосы больше окружной скорости валков в

$$(d + \frac{h}{2}) : d = 1 + \frac{h}{2d} \text{ раз;}$$

иначе говоря, полоса имеет опережение по отношению к окружной скорости валков на $\frac{h}{2d} \cdot 100\%$

$$V = \frac{\pi d n}{60} (1 + \frac{h}{2d}) \quad (2)^1$$

Определяемая по формуле Блясса скорость прокатки ниже вычисляемой на практике по формуле (1).

Между тем, в некоторых случаях скорость прокатки больше вычисленной по формуле (1).

Наличие опережения металла по отношению к окружной скорости валков в глубине ручья проверено многими опытами Блясса², Котеля³ и Пуппе⁴, которые набивали на поверхности валка метки в равных расстояниях друг от друга (e на фиг. 6) и сравнивали эти расстояния с расстоянием (E) отпечатков этих меток на прокатанной полосе.

Всегда оказывалось $E > e$, что свидетельствует об опережении.

Пуппе на специальных опытах убедился, что формула (2) верна для низких температур и малых коэффициентов уменьшения высоты $(\frac{H-h}{H} = 0,28 - 0,22$, где H первоначальная толщина бруска, а h — по выходе из валков) от 0,22 до 0,28 или $\frac{h}{H} = 0,78$ до 0,72.

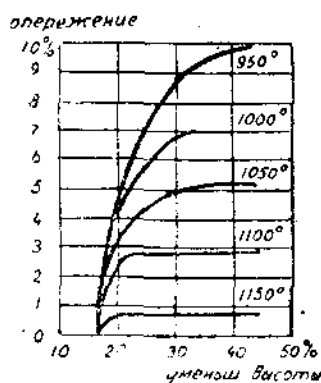
Пуппе нашел, однако, что величина опережения зависит в значительной мере от температуры металла: будучи ничтожно-малым при температурах около 1150°, оно значительно возрастает с падением температуры, каковой фактор не введен в формулу (2).

Точно также, по данным Пуппе, опережение зависит от величины вертикального обжатия, значительно возрастаая при увеличении последнего (фиг. 8), как это видно из следующей таблички:

Опережение %	Температура (град.)	Обжатие
9,5	950	0,38
1,5	1150	0,38
8	950	0,17
1	1150	0,17

Опять таки влияние этих факторов не учтено в формуле (2).

Фальк и Кирхберг приписывают большое влияние на опережение коэффициенту трения металла о валки и, как мы увидим ниже, не без



Фиг. 8.

¹ Формула Блясса. Эта формула разными путями выведена Бляссом и Тафелем (Stahl und Eisen 1882 г., стр. 283, и Тафель — Walzen und walzenkalibrieren, Dortmund, 1923 г., стр. 65).

² Stahl und Eisen 1882 г., стр. 283.

³ Stahl und Eisen 1908 г., стр. 163.

⁴ Stahl und Eisen 1909 г., стр. 161.

основания: следовательно, формула (2) и в этом отношении неудовлетворительна.

Влияние на опережение коэффициента трения, т. е. преимущественно температуры и, вообще, состояния поверхности валков и поверхности металла, освещается следующим наблюдением Кирхберга.

На одном спицепрокатном заводе, где при каждом повороте валков получалась одна спица, должны были прокатываться болванки, весом 350 кг, что соответствует 18 спицам.

При прокатке оказалось, что в пределах заданных допусков возможно прокатать только 4 спицы, между тем как пятая уже получалась короче первой на 18 мм, шестая еще короче и так далее.

Приблизительно от восьмой до десятой спицы опережение уже стало равно нулю и даже более того: благодаря скольжению валков по заготовке, стало отрицательным, так что укорочение спиц доходило до 80 мм.

Чтобы устранить этот недостаток прокатки, было устроено водяное охлаждение обоих валков. После этого стало возможным прокатывать все 18 спиц в границах заданных допусков и даже регулировать длину получающихся спиц посредством регулирования охлаждения.

Причину влияния охлаждения валков на опережение следует искать в изменении коэффициента трения.

Кирхберг, хотя и указывает на исключительную роль коэффициента трения во влиянии на размер опережения, однако предлагает формулу, в которую не входит этот фактор:

$$y = 0,1 \operatorname{tg} \varphi.$$

Изложенное в достаточной мере характеризует всю сложность вопроса опережения металла в валках, осложняемого, кроме того, сопутствующим ему не менее сложным явлением уширения. Скорость прокатки нельзя рассматривать, как результат увлечения металла между валками путем одного только трения или прилипания частиц металла к поверхности валков, как это было принято при выводе формулы (2).

Здесь происходит сложное явление истечения металла между впуском и выпуском металла, охарактеризованное в предыдущей главе. Обратимся к анализу этого явления, помня, что согласно закону сохранения вещества количество металла, захваченного валками в единицу времени должно быть равно количеству металла, выбрасываемого в то же время; точно так же, как оно остается постоянным во всяком другом сечении прокатываемой полосы между двумя крайними сечениями в месте впуска и выпуска (фиг. 9).

Воспользуемся для этого анализа методом, предложенным проф. Тафелем в его книге *Walzen und Walzenkalibrieren* (1923 г., стр. 21—27¹⁾, несколько изменив и дополнив его.

Пусть окружная скорость поверхности валков, соприкасающейся с прокатываемой полосой, равна V_0 . Если допустить, согласно вышеизложенного, что благодаря трению металл как бы прилипает к валкам в месте их взаимного соприкосновения, то горизонтальная скорость, с которой эти частицы металла приближаются к выходу из валков от a к n , очевидно, является переменной и равной:

$$V_a = V_0 \cos \alpha, \quad (3)$$

где угол α изменяет свое значение от 30 до 0° для каждой точки металла, находящегося в соприкосновении с валками.

Рассечем деформируемую часть полосы плоскостями 1, 2, 3,... n перпендикулярными направлению прокатки.

В сечении полосы получаем прямоугольники с высотами $h_1, h_2, \dots, h_n$.

¹ Имеется в русском переводе.

Примем временно, что ширина полосы до входа в валки и после выхода из валков остается неизменной и равной B ; такова же будет, следовательно, ширина или основание каждого прямоугольного сечения.

Таким образом, площадь каждого сечения строго определена.

Временно допустим также, что горизонтальная скорость всех частиц металла в данной плоскости сечения одинакова и равна скорости соответствующих точек $a, b, c \dots n$.

Это последнее допущение после математического анализа даст нам возможность определить степень неточности его и характер истечения частиц металла в каждом сечении.

Отметим кстати, что, в частности, и в сечении n мы принимаем скорость всех частиц одинаковой и равной скорости точки n , в то время как при выводе формулы (2) полагали, что скорость каждой частицы этого сечения зависит от расстояния ее от O_0 или O_n и является для разных частиц разной.

В свое время ниже мы будем иметь возможность внести в наши рассуждения необходимые коррективы, именно, как следствие из полученных результатов.

При указанных допущениях формула (3) приложима не только к точкам $a, b, c, \dots, n$, но и ко всем точкам поперечных сечений, $h_1, h_2, \dots, h_n$, т. е. скоростям металла в каждом сечении. По этой формуле скорость металла при впуске ($\alpha=30^\circ$) является наименьшей и достигает максимума при выпуске ($\alpha=0^\circ$). При выпуске скорость металла

$$V = V_0,$$

так как $\cos 0^\circ = 1$.

Определим объемы металла W , проходящие через каждое сечение в единицу времени, как произведение площади каждого сечения на его скорость:

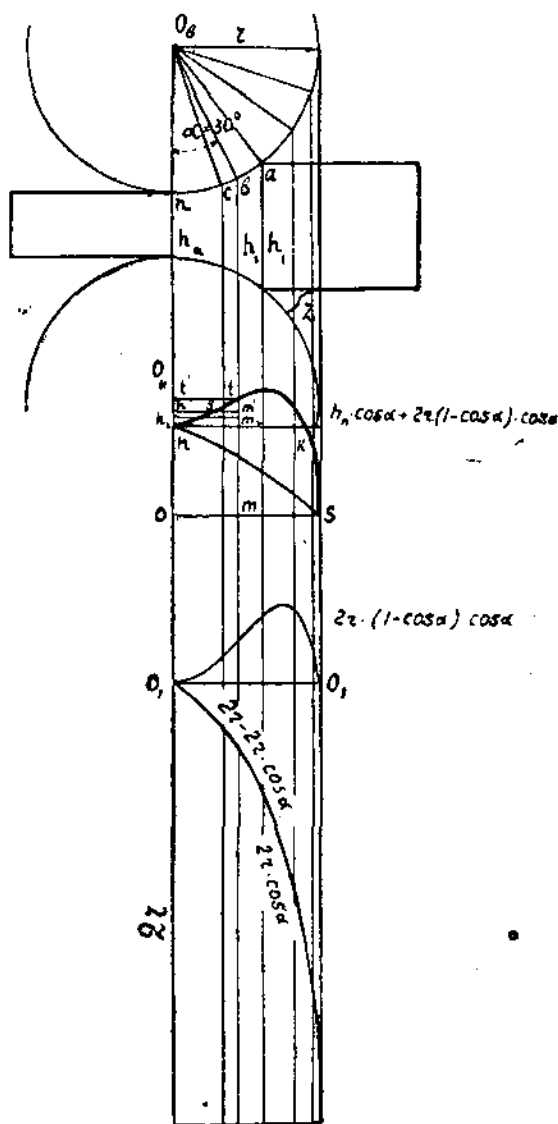
$$W_1 = B_1 h_1, V_1 = B_1 h_1 V_0 \cos \alpha_1$$

$$W_2 = B_2 h_2 V_2 = B_2 h_2 V_0 \cos \alpha_2$$

$$W_3 = B_3 h_3, \quad V_3 = B_3 h_3 V_0 \cos \alpha_3$$

• • • • •

$$W_n = B_n h_n, V_n = B_n h_n V_0 \cos \alpha_n$$



Фиг. 9.

Значки соответствуют сечениям.
Высоты h можно выразить через h_n , пользуясь выражением

$$h_x - h_n = d(1 - \cos \alpha_x) \text{ или} \\ h_x = h_n + d(1 - \cos \alpha_x).$$

Отсюда

$$h_1 = h_n + d(1 - \cos \alpha_1) \\ h_2 = h_n + d(1 - \cos \alpha_2) \text{ и т. д.}$$

Подставляя эти выражения, имеем:

$$W_1 = B_1 V_0 [h_n \cos \alpha_1 + d(1 - \cos \alpha_1) \cdot \cos \alpha_1]; \\ W_2 = B_2 V_0 [h_n \cos \alpha_2 + d(1 - \cos \alpha_2) \cdot \cos \alpha_2]; \\ W_3 = B_3 V_0 [h_n \cos \alpha_3 + d(1 - \cos \alpha_3) \cdot \cos \alpha_3]; \\ \dots \dots \dots \\ W_n = B_n V_0 [h_n \cos \alpha_n + d(1 - \cos \alpha_n) \cdot \cos \alpha_n];$$

или

$$W_1 = k [h_n \cos \alpha_1 + d(1 - \cos \alpha_1) \cdot \cos \alpha_1]; \\ W_2 = k [h_n \cos \alpha_2 + d(1 - \cos \alpha_2) \cdot \cos \alpha_2]; \\ W_3 = k [h_n \cos \alpha_3 + d(1 - \cos \alpha_3) \cdot \cos \alpha_3]; \\ \dots \dots \dots \\ W_n = k [h_n \cos \alpha_n + d(1 - \cos \alpha_n) \cdot \cos \alpha_n].$$

При условии $B_1 = B_2 = B_3 = \dots B_n = B$, имеем, что объемы W пропорциональны выражениям, стоящим в квадратных скобках.

Построим кривую объемов в общем виде по методам проф. Тафеля (фиг. 9).¹

При помощи таблиц круговых функций построим кривую для $d \cos \alpha$ для углов от 0 до 90°.

За ординату для $\alpha=0$ примем d : тогда отрезки ординат между кривой и горизонталью $O_1 O_1$ равны $d - d \cos \alpha = d(1 - \cos \alpha)$.

Умножая эти отрезки на $\cos \alpha$, получаем кривую

$$d(1 - \cos \alpha) \cdot \cos \alpha,$$

которая помещена выше линии $O_1 O_1$.

Наконец, нанося на верхней диаграмме произведения $h_n \cos \alpha$ (кривая ns) и прибавляя соответствующие значения $d(1 - \cos \alpha) \cdot \cos \alpha$ из предыдущей диаграммы, получаем „кривую объемов“ $ntks$.

Для нас имеет значение только участок $ontam$ диаграммы.

Мы видим, что сделанные предположения об отсутствии явлений истечения и о равенстве скоростей металла в точках данного сечения приводят нас к тому, что при впуске валки захватывают больший объем металла, пропорциональный mt , чем выбрасывают его при выпуске, где объем пропорционален on , что противоречит основному положению о равенстве захватываемых и выбрасываемых объемов в единицу времени.

Посмотрим, каков должен быть действительный объем металла, выбрасываемого в единицу времени валками.

1. *Предположим, что он пропорционален отрезку on .*

¹ Проф. Тафель. Walzen und Walzenkalibr. 1923 г., стр. 24.

Тогда такой же объем металла должен быть и при захвате металла валками и, вообще, в каждом поперечном сечении деформируемого металла. На диаграмме это выражено горизонталью $пк$.

В таких случаях во всех сечениях, кроме n -го, необходимо предположить попятное движение, отставание некоторой части металла, благодаря которому скорость остальных соответствует объему $оп$, если ширина металла остается постоянной.

В результате этого, в области между n и a в металле создается повышенное давление, которое в данном случае (условие объема $оп$) может быть уравновешено только попятным движением металла относительно поверхности валков — во внутренних частях металла большее, чем с поверхности.

Истечение внутренних частей назад влечет за собой увеличение позади валков поперечного сечения металла, что выражается или проявлением утолщения Z перед входом в валки, как это изображено на нижней половине болванки (фиг. 9), или скольжением металла навстречу движению поверхности валков в некоторой части этой поверхности, вследствие растяжения металла.

Увеличение сечения болванки непосредственно за плоскостью I должно быть в отношении $\frac{tm}{on}$, или уменьшение скорости болванки $V_0 \cos \varphi$ в этом отношении.

2. Предположим, что выбрасываемый в единицу времени валками металл пропорционален отрезку mt , т. е. захваченный валками металл, не испытывая попятного движения или скольжения, принудительно нагнетается в щель между валками.

Это на диаграмме представлено горизонталью tt' .

Если опять принять отсутствие уширения металла, то остается необходимым допустить опережение металла, благодаря которому скорость вытекающего из валков металла будет выше чем V_0 в отношении $\frac{t'o}{no}$.

В действительности, ни столь значительного распухания болванки или попятного движения, ни столь сильного скольжения, ни столь большого опережения не наблюдается, так как выбрасываемый объем металла пропорционален некоторому среднему отрезку между двумя рассмотренными крайними $оп$ и $от'$.

Это на диаграмме выражается горизонталью n_2m_2 (фиг. 9) или $n'm'$, в зависимости от величины объема выбрасываемого валками металла.

Пусть этот объем будет пропорционален отрезку $он'$, что выражается горизонталью $n'm'$ (фиг. 9).

Так как объем захватываемого металла должен быть такой же, то уменьшение скорости входящей в валки полосы (попятное движение) будет пропорционально $\frac{m't}{mt}$ (уширение в данном случае = 0).

Пересечением линии $m'n'$ с кривой объемов дает нам точку y , в которой теоретический объем совпадает с действительным.

Это значит, что в соответствующем сечении металла горизонтальная скорость металла равна горизонтальной скорости точки валка.

Эта точка отвечает некоторому значению угла α .

В этой точке и попятное движение и опережение равно 0.

Подобный результат получил еще Финк из своих расчетов.

Он пришел к выводу, что скорость металла согласуется с окружной скоростью только в некотором сечении, находящемся более или менее близко к плоскости центров валков.

В соответствии с тем, что попятное движение, как выяснено было в главе I, исчезает при условии равенства угла α углу трения γ , можно принять, что точка y отвечает углу трения γ в данных условиях работы.

Если бы можно было определить в каждом данном случае угол трения, то можно было бы точно определить скорость прокатки и опережения, при отсутствии уширения по приведенной диаграмме.

Будем называть это опережение теоретическим.

На основании произведенного анализа попытаемся дать общую картину истечения металла в валках.

Вследствие стремления валков захватить больше металла, чем они могут выбросить его, позади валков образуется напор металла или, по выражению проф. В. Е. Грум-Гржимайло, „гидростатическое давление“, стремящееся равномерно распределиться по всем направлениям. При этом металл устремляется в направлении наименьшего сопротивления.

Направление наименьшего сопротивления в зависимости от многих условий может быть различным.

Мыслимы три направления, по которым может устремиться металл:

- 1) в направлении прокатки (опережение),
- 2) в направлении противоположном (скольжение, попятное движение);
- 3) в направлении перпендикулярном, параллельном оси валков (уширение).

В сечении, отклоненном на угол γ , вероятно, обычно не более, чем на 10° от плоскости валков в направлении, обратном прокатке, частицы металла имеют скорость, равную горизонтальной проекции окружной скорости валков в этой точке.

Эта скорость определяет тот объем металла, который затем проталкивается с возрастающей скоростью вперед, создавая явление опережения и заканчивая уширение. Эта дополнительная скорость против скорости, создаваемой трением металла о валки, обуславливаемая возрастающим сужением ручья или абриса металла, создается защемлением металла в области „критического сечения“.

Таким образом, если в данных валках прокатывается металл с обжатием, дающим угол захвата меньше 10° , весь процесс вытяжки обуславливается только опережением¹, так как металл, вступая в валки, сразу защемляется и весь выжимается вперед, как при штамповании. Попытное движение металла отсутствует; задний конец прокатываемой полосы идет в валки со скоростью, отвечающей горизонтальной проекции скорости валка в точке захвата.

Линии Голленберга в этом случае, а также торец выходящей из валков полосы должны быть выпуклы в направлении прокатки, так как при штамповании полосы в суживающуюся щель между валками вследствие трения металла о стенки щели скорость внутренних частиц металла должна быть больше наружных, соприкасающихся с валками. При очень большом опережении на поверхности полосы возможны надрывы металла, как это бывает при штамповании. Впрочем, при достаточной пластичности металла (хорошо раскислен, мало серы, высокая температура) эти рванины могут завариваться за счет внутренних частиц металла.

В сечении, отклоненном более чем на 10° от плоскости валков, слои металла в среднем имеют скорость, меньшую горизонтальной проекции скорости соответствующих точек поверхности валков.

Уменьшение скорости металла возрастает в направлении, обратном прокатке, и определяется тем условием, что объем проходящего в каждый момент металла в каждом сечении должен быть равен объему металла, проходящего в тот же момент через критическое сечение, именно:

$$(B+z_{\gamma}) \cdot h_{\gamma} \cdot V_0 \cos \gamma,$$

¹ Из дальнейшего видно, что термин „гидростатическое давление“ здесь не вполне уместен в виду того, что „оживление“ металла не распространяется на всю толщину его.

² Здесь предполагается, что уширение устранено.

³ Измеряя скорости заднего конца полосы, окружную скорость валков и угол захвата, можно убедиться в степени правильности этого вывода.

$\cos \gamma$ — горизонтальная критическая скорость металла в критическом сечении.

Действительная средняя скорость металла в каком-либо n -том сечении металла позади критического сечения, очевидно, определяется из равенства

$$(B+z_1) \cdot h_1 \cdot V_0 \cos \gamma = (B+z_n) \cdot h_n \cdot V_n$$

$$V_n = \frac{(B+z_1) \cdot h_1}{(B+z_n) \cdot h_n} V_0 \cos \gamma$$

т. е. критическая скорость уменьшается обратно пропорционально n -ному сечению полосы.

Исходя из этого, можно вычислить действительную скорость заднего конца прокатываемой полосы.

Непосредственным опытом можно проверить степень правильности этого вывода.

В этом представлении захватываемый валками металл, дойдя до критического сечения, как бы упирается в это сечение и принужден, в случае избытка его, как бы пятиться назад.

Нужно думать, что это попятное движение или замедление скорости металла в обратном прокатке направлений изменяется неодинаково в разных точках n -ного сечения, ибо трение металла о поверхность валков побуждает поверхностные частицы металла, по возможности, сохранить скорость прилегающих частиц поверхности валков; отсюда следует, что в данном вертикальном слое попятное движение глубоко расположенных частиц тем более усиливается.

Попробуем разобраться в происходящих здесь явлениях.

Розобьем участок металла, захваченного позади критического сечения, на вертикальные слои весьма малой толщины Δs (фиг. 10).

Каждый такой слой, не только увлекаемый с поверхности трением, продвигается вперед, но испытывает обжатие Δh , по мере продвижения к критическому сечению постепенно убывающее.

Рассмотрим n -ный слой.

На пути Δs этот слой обжимается на величину Δh .

Мы увидим ниже (см. главу „Уширение“), что происходящая вертикальная деформация не распространяется мгновенно по всей высоте бруска или в данном случае слоя, а в краткий промежуток времени успевает распространиться лишь на некоторую глубину от обеих поверхностей давления. Предположим, что глубина происшедшей деформации равна при каждой поверхности части слоя h_a , в остальной части высоты слой h_c остается недеформированным, как бы жестким.

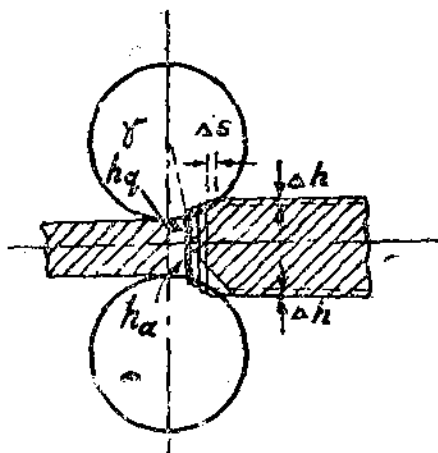
Назовем первую часть слоя (не заштрихована на фиг. 10) активной частью слоя, вторую (заштрихованную, — слоем *стержня сопротивления*).

Стержень сопротивления, как недеформируемая часть, прочно и жестко связан с задней частью полосы, еще не вошедшей в валки.

Выше мы выяснили, что задний конец полосы имеет скорость

$$V_x = \frac{(B+z_1) h_1}{(B+z_q) H} V_0 \cos \gamma$$

¹ Здесь B и H — ширина и толщина бляшки; $z\varphi=0$, φ — угол захвата.



Фиг. 10.

следовательно, такую же скорость должны иметь и все слои стержня сопротивления.

Высота n -ного слоя сопротивления может быть приближенно определена из следующих соображений.

Ширина слоя, как недеформируемого металла, равна исходной ширине болванки B .

Ширина деформируемого слоя увеличивается за счет уширения и равна $B + z_n$, скорость деформируемого слоя примем равной $V \cos \alpha_n$, высота деформируемого слоя h_n определяется из условия, что объем деформируемого в данный момент металла при нормальной прокатке равен объему защемляемого в то же время металла в критическом сечении.

Следовательно

$$(B + z_\gamma) h_\gamma \cdot V_\gamma \cos \gamma = 2 (B + z_n) V_n \cos \alpha_n h_n$$

или

$$h_n = \frac{(B + z_\gamma) h_\gamma \cdot \cos \gamma}{2 (B + z_n) \cos \alpha_n}$$

При большей ширине B уширением можно пренебречь, тогда имеем:

$$h_n = \frac{h_\gamma \cdot \cos \gamma}{2 \cos \alpha_n} \quad (4)$$

(Если не пренебрегать уширением, то его можно ввести в рассмотрение, приняв, например, изменение его пропорциональным изменению давления Δh).

Выведенная формула дает возможность вычертить контур стержня сопротивления для каждого нормального случая прокатки в гладких валках или, вообще, прокатки с прямым давлением.

Очевидно, стержень сопротивления выклинивается совершенно к критическому сечению или ранее (фиг. 10), ибо по формуле (4) в критическом сечении $h_n = \frac{h_\gamma}{2}$ и, следовательно, высота слоя сопротивления равна нулю.

С этого момента или несколько раньше металл нормально деформируется по всему сечению.

В действительности, разумеется, имеется некоторое отступление от указанной схемы, именно потому, что скорость деформируемого слоя в действительности не всюду одинакова; она равна $V \cos \alpha_n$ на поверхности соприкосновения и постепенно уменьшается до V_γ по мере приближения к слою сопротивления, т. е. в среднем скорость деформируемого слоя несколько ниже $V \cos \alpha_n$ и, следовательно, h_n в действительности несколько больше вычисленного, а стержень несколько меньше расчетного.

На величину стержня сопротивления и активного слоя, как увидим ниже, оказывает влияние скорость деформации и скорость распространения деформации, а, следовательно, температура и качество металла.

Кроме того, на величину стержня сопротивления оказывает влияние толщина прокатываемого металла по сравнению с величиной обжатия.

При ненормальном соотношении этих величин выклинивание слоя сопротивления может эйти далее критического сечения, вплоть до конца области деформации, сохраняя все время некоторую конечную величину. Этот ненормальный случай пока мы исключаем из рассмотрения. Указанное отступление, однако, не изменяет сущности дела.

Итак, стержень сопротивления имеет во время прокатки поступательное движение вперед со скоростью заднего конца прокатываемой полосы. Сверху и снизу стержня имеется активный слой деформируемого металла, несколько опережающего стержень, но не опережающего поверхности валков.

Поступлении металла в критическое сечение металл сплошь деформируется и вытекает за линию центров валков со скоростью, превышающей окружную скорость валков.

Это представление вполне уясняет тот факт, что при больших обжатиях, т. е. при больших углах захвата, линии Голленберга выпуклы назад и задний торец прокатанной полосы более или менее выпуклый, между тем как передний более или менее вогнут.

Приведенная мною картина деформации металла при прокатке во многом согласуется с картиной, которую рисует Метц на основании своего опытного исследования горячей прокатки железа и которую я позволю себе здесь цитировать (Н. Метц — «Опытное исследование горячей прокатки железа», перевод Широковского).

«При прокатке со слабым давлением до коэффициента удлинения 1,1¹ истечение металла на поверхности соприкосновения и центральной части (подразумевая под последним внутреннее истечение и движение частиц боковых поверхностей) происходит всегда в одном и том же направлении².

«При прокатке с большим давлением, соответствующим коэффициенту удлинения свыше 1,1³, движение частиц на поверхности и истечение в центральной части⁴ происходит в противоположном направлении, затем в конце дуги захвата⁵, они имеют одно и то же направление⁶.

Первый период особенно благоприятен для уширения.⁶

«Представим себе, что происходит, когда средняя часть течет в направлении, обратном направлению прокатки. Под действием касательной силы поверхностные частицы в начале угла захвата удлиняются. Максимум этого удлинения достигается почти непосредственно у входа, ибо вертикальные винты остаются почти перпендикулярными к поверхности соприкосновения⁷.

«Действие этого удлинения распространяется немного вперед по дуге захвата. Это действие сообщается внутренними частицами до определенной глубины⁸.

«Глубина поверхностного распространения истечения увеличивается:

1) когда температура прокатки понижается, ибо с понижением температуры пластичность металла уменьшается;

2) когда движение прокатки повышается под действием горизонтальной составляющей, полученной при разложении равнодействующей для сил нормальной и касательной, истечение в центральной части, происходящее в противоположном направлении, увлечет несколько назад частицы продольного сечения. Но это будет совершаться главным образом по мере уменьшения сопротивления при перемещении частиц в направлении поперечном, полоса уширяется и ее боковые стороны выпячиваются⁹.

«Во второй период⁹ истечение в центральной части и движение частиц на поверхности имеют одно и то же направление. Давление прокатки будет все более и более уменьшаться и проникать мало-помалу внутрь полосы. Длина дуги, где все части имеют одно и то же направление, будет увеличиваться с понижением температуры, ибо междучастичное трение возрастает с понижением температуры¹⁰.

«Полоса кажется разделенной на три части¹¹: верхняя и нижняя зона, подвергающиеся независимо каждая действию истечения на поверхностях

¹ В этих случаях при опытах Метца угол захвата был равен 7,5° (табл. 5, стр. 270. Выведено мною).

² Курсив мой. Область «штампования» моей теории.

³ В опытах Метца применялись коэффициенты от 1,25 до 1,94, что соответствовало углам захвата от 17 до 20° (выведено мною. См. стр. 269 — 270 работы Метца, табл. 1 — 4).

⁴ Стержень сопротивления моей теории.

⁵ Область «штампования» моей теории. Курсив мой.

⁶ Об уширении см. след. главу.

⁷ Глубина «активного слоя» моей теории.

⁸ Об уширении см. след. главу.

⁹ В периоде «штампования» по моей теории.

¹⁰ Это совпадает с увеличением угла зацемянения с понижением температуры по моей теории.

¹¹ Два активных слоя и стержень сопротивления по моей теории.

соприкосновения и разделенные одна от другой зоной, подвергнутой действию центрального истечения.

Высота последней¹ тем менее, чем ниже температура прокатки, в то время как понижение давления ее увеличивает².

„Как только скорость центрального истечения, изменяя свое направление, достигнет нуля в какой-нибудь своей точке³, она вновь очень скоро будет возрастать и превзойдет скорость частиц на поверхности“³.

„Скорость центрального истечения будет увеличиваться более и более, и в известный момент она превзойдет скорость поверхностных частиц; сечение будет уменьшаться все более и более, а опыты при низких давлениях нам показывают, что *центральные частицы опережают поверхностные частицы*“.

„Под влиянием двух одновременных истечений полоса будет скользить по валкам и превзойдет опережение“.

Так как увеличение скорости частиц встречает сопротивление от трения их друг относительно друга, с возрастанием ее усиливается истечение в стороны, поскольку оно, не имея большой скорости, представляет уменьшенное сопротивление.

Из нарисованной выше картины видно, что истечение металла вперед сопровождается большим или меньшим развитием уширения.

Уширение имеет место на всем протяжении деформации, так как позади „критического сечения“ оно также уравнивается с попятным движением металла.

Не имея достаточно свободного выхода вперед позади „критического сечения“, частицы металла в значительном количестве устремляются в ширину и назад, стремясь иногда увеличить поперечное сечение болванки, что и замечается в виде уширения и иногда образования упомянутого выше наката в месте захвата металла валками; при этом частицы металла, соприкасающиеся с валками, идут в некоторой части окружности с меньшей скоростью, т. е. скользят по валкам.

На основании сделанного нами анализа можно вывести формулу скорости прокатки в функции следующих факторов:

B — ширины задаваемой в валки болванки в мм;

z — уширения полосы в мм, в величине коего скрывается влияние всех факторов прокатки:

V_0 — окружной скорости работающего диаметра валиков в м/сек;

h — толщины прокатываемой полосы в мм;

d — работающего диаметра вала в мм;

φ — угла захвата;

γ — угла трения, в величине коего скрывается фактор температуры валков и металла, а также удельного давления металла на валок.

Все эти факторы легко определимы, за исключением угла трения γ . В качестве первого приближения, на основании вышеприведенных соображений, можно принять γ не больше 10° ; при повышении температуры валков и других факторов γ сильно падает.

Мы доказали, что в „критическом сечении“, т. е. проходящем через точку окружности валков, отвечающую углу трения γ , определяется объем металла W_γ , выбрасываемый в секунду валками. Обозначим его через W_γ (действительный объем).

Итак,

$$W_\gamma = W_0$$

На основании вышеизложенного напишем:

$$W_\gamma = (B + z_\gamma)[h + d(1 - \cos \gamma)] V_0 \cdot \cos \gamma,$$

где z_γ — уширение в „критическом сечении“.

¹ Высота „стержня сопротивления“ по нашей теории.

² В критическом сечении по нашей теории в вершине стержня сопротивления.

³ Курсив мой. Опережение в области „штампования“.

С другой стороны, обозначив через V действительную скорость прокатки, имеем:

$$W_g = (B+z) \cdot h \cdot V,$$

где z — наблюдаемое уширение после прокатки.

Отсюда имеем:

$$(B+z_1) [h+d(1-\cos \gamma)] V_0 \cos \gamma = (B+z) \cdot h \cdot V$$

и, следовательно,

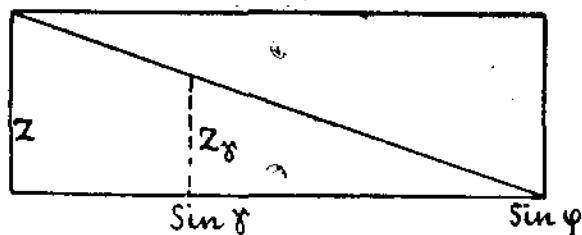
$$V = \frac{(B+z_1) [h+d(1-\cos \gamma)] \cos \gamma V_0}{(B+z) \cdot h}$$

Для определения z_1 сделаем допущение, что уширение, растет по мере продвижения металла в валках линейно, тогда из фиг. 11 видно, что

$$\frac{z_1}{z} = \frac{\sin \varphi - \sin \gamma}{\sin \varphi}$$

или

$$z_1 = z \frac{\sin \varphi - \sin \gamma}{\sin \varphi}$$



Фиг. 11.

Подставляя это выражение в предыдущее уравнение, имеем окончательно для скорости прокатки:

$$V = \frac{\left(B+z \frac{\sin \varphi - \sin \gamma}{\sin \varphi} \right) [h+d(1-\cos \gamma)] V_0 \cos \gamma}{(B+z) \cdot h}$$

Отсюда опережение

$$y = \frac{\left(B+z \frac{\sin \varphi - \sin \gamma}{\sin \varphi} \right) [h+d(1-\cos \gamma)] \cos \gamma}{(B+z) \cdot h} - 1 \quad (5')$$

Выведенная формула легко преобразуется для случая *отсутствующего уширения* (теоретическое опережение).

В таком случае $z=0$, следовательно:

$$y = \frac{[h+d(1-\cos \gamma)] \cos \gamma}{h} - 1 \quad (5)$$

Пользуясь теми же соображениями, можно определять *скорость металла, поступающего в валки*.

Если бы не было попятного движения, то болванка шла бы в валки со скоростью $V_0 \cos \gamma$.

Вследствие попятного движения, в действительности болванка имеет меньшую скорость: обозначим ее через V_x .

Как было выяснено выше, объем металла, подаваемого в валки в единицу времени, определяется объемом сго, проходящим в то же время через „критическое сечение“, поэтому, применяя прежние обозначения, имеем:

$$(B+z_1) [h+d(1-\cos \gamma)] V_0 \cos \gamma = BH V_x$$

Откуда:

$$V_x = \frac{(B+z_1) [h+d(1-\cos \gamma)] \cdot \cos \gamma \cdot V_0}{BH}$$

Скорость попятного движения:

$$V_{\pi} = V_0 \cos \varphi - V_z$$

Попытное движение относительно V_0 (отставание):

$$y_{\pi} = \cos \varphi - \frac{(B + z_{\gamma}) [h + d (1 - \cos \gamma)] \cos \gamma}{BH} \quad (6')$$

Теоретическое попятное движение относительно V_0 (т. е. при $z=0$):

$$y_m = \cos \varphi - \frac{h + d (1 - \cos \gamma)}{H} \cos \gamma \quad (6)$$

Попытное теоретическое отставание относительно $V_0 \cos \varphi$:

$$y_0 = 1 - \frac{h + d (1 - \cos \gamma)}{H \cos \varphi} \cos \gamma \quad (7)$$

Для вычисления действительного опережения необходимо знать величину уширения и угла трения γ .

ГЛАВА IV

СВОБОДНОЕ УШИРЕНИЕ МЕТАЛЛА

При обжатии металла в валках последний, конечно, должен раздавливаться ими, подобно тому, как раздавливаются бруски, подвергаемые ковке или прессованию. Поэтому целесообразно рассмотреть деформацию металла при процессе прессования иковки.

Прежде всего отметим, что в этой главе нас интересует явление раздавливания металла в направлении, перпендикулярном направлению прокатки, называемое уширением.

Если прокатка ведется в гладких валках или в достаточно свободных в ширину плоских ручьях, то уширение развивается свободно; если же ручьи тесны, то уширяемый металл упирается в боковые грани ручья и уширение становится несвободным.

Если в различных частях профиля прокатываемой полосы происходит одновременно различное обжатие, то в очаге деформации происходит вынужденное перемещение металла из мест большого обжатия в места меньшего обжатия и уширение принимает ненормальные размеры, будучи приведено к тому вынужденным ненормальным перемещением металла из одной части профиля в другую.

В этом случае уширение называется вынужденным.

Рассмотрим в этой главе явление свободного уширения.

При процессе прессования иликовки обычно мы имеем дело с свободным истечением металла в стороны. В тех случаях, когда при прессовании иликовке истечение металла во все или только две противоположные стороны ограничивается стенками формы или матрицы, мы имеем дело вполне или отчасти с несвободными или полусвободными истечениями металла, и самый процесс в этом случае носит название штампования.

Во второй стадии процессов прокатки, в стадии "штампования", мы имеем дело в гладких валках или достаточно свободных ручьях с полусвободным уширением металла в стороны, а в тесных ручьях — с несвободным уширением.

Если обратиться к примеру обжатия цилиндрического бруска высотой h_1 (см. фиг. 12) до высоты h_2 под прессом и молотом, то не трудно усмотреть, что уменьшение высоты цилиндра влечет за собой неизбежно увеличение диаметра его. Очевидно, объем заштрихованного кольца

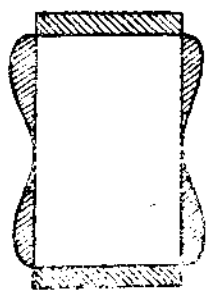
должен быть равен объему заштрихованной части первоначального цилиндра высотой $h_1 - h_2$.

Чем больше вертикальное обжатие $h_1 - h_2$ при постоянном d , тем больше должно быть уширение цилиндра. Вследствие того, что пластичное состояние до некоторой степени подобно жидкому, давление как бы гидростатическое в идеальном случае равномерно передается во все стороны и поэтому уширение цилиндра выльется также в цилиндрическую форму.

Однако, вследствие трения металла о поверхность ab бойка преса и о поверхность наковальни cd , металл несколько утягивается в углах a, b, c, d , образуя закругленный буртик. Влияние трения сопровождается также охлаждением прилегающих к бойку и наковальне частиц металла и, следовательно, уменьшению пластичности этих частиц по сравнению с лежащими более глубоко от этих поверхностей.

Поэтому давление равномернее передается в более пластичной среде, вследствие чего боковая поверхность цилиндра становится несколько выпуклой. Эта выпуклость может придать бочкообразную форму всему цилиндру или же эта выпуклость распространяется лишь на части высоты цилиндра, прилегающие к поверхностям бойка и наковальни, как показано на фиг. 13¹.

Та или другая форма боковой поверхности деформированного цилиндра зависит от глубины проникновения деформации во времени. Пластическое состояние отличается от жидкого, между прочим, большим внутренним междучастичным трением, большим сопротивлением деформации. Благодаря этому деформация пластических тел осуществляется значительно медленнее, чем жидких. Достижение равномерности давления во всех частях массы поэтому находится в большой зависимости от времени действия деформирующих сил, а также от их размера. В то время как для жидкости достаточной деформирующей силой является уже сила тяжести, для пластических тел эта сила в большинстве случаев не имеет значения.

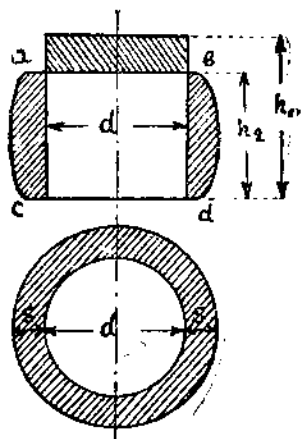


Фиг. 13.

Мгновенно приложенная достаточная деформирующая сила, например, резкий удар молота, производит лишь весьма поверхностную деформацию типа фиг. 13. Недеформированный слой при этом остается временно как бы упругим, не поддающимся пластической деформации². Наоборот, медленное действие гидравлического преса при достаточном обжатии и продолжительности действия силы может произвести деформацию типа фиг. 12.

Ясно, что чем больше высота цилиндра, тем больше при прочих равных условиях деформация приближается к типу фиг. 13 и, наоборот, чем меньше высота, тем ближе деформация к типу фиг. 12.

Здесь мы видим также „активный слой“ и „стержень сопротивления“ изменяющиеся в зависимости от условий деформации. „Активный слой“ тем тоньше, чем больше скорость деформации: высота „стержня сопротивления“ наоборот, уменьшается с замедлением скорости деформации. При данной скорости деформации, очевидно, высота стержня сопротивления



Фиг. 12.

¹ См. опыт Кика. Последний объясняет эти явления посредством своей теории „конусов скольжения“.

² О факторах глубины деформации см. Головин — Прокатка; г. Свердловск, 1925 г. Также Ридель и К. Румель Stahl und Eisen. 1919 г., 6, 13 и 20, III.

возрастает с увеличением высоты деформируемого бруска, так как толщина активного слоя от этой высоты не зависит и является функцией лишь скорости распространения деформации и ее размера. Скорость распространения деформации определяется величиной межчастичного трения. Последнее возрастает с понижением температуры и с увеличением предела упругости.

Отсюда толщина активного слоя уменьшается, а высота стержня сопротивления увеличивается с указанным изменением температуры и предела упругости металла, при данных размерах бруска, данной скорости и величине его вертикального обжатия; при этом местное расширение активного слоя будет тем больше, чем ниже температура и чем выше предел упругости металла.

В виду того, что боковые периферические частицы металла оказывают меньше сопротивления деформации, можно думать, что активный слой утолщается к периферии сжимаемого цилиндра и становится тоньше к центру с соответствующим изменением формы стержня сопротивления.

Рассматривая деформацию бруска в плоскости, перпендикулярной направлению обжатия, будем иметь в виду, что деформация протекает здесь лишь как явление истечения сжатого металла, стремящегося перемещаться по линиям наименьшего сопротивления.

Величина расширения под прессом, отнесенная ко всей высоте цилиндра, при прочих равных условиях, очевидно, зависит от высоты цилиндра и от диаметра его. Чем больше высота цилиндра, тем меньше расширение.

Например, пусть h — величина вертикального обжатия, d — первоначальный диаметр цилиндра, s — расширение, $n\Delta h$ — высота цилиндра после деформации.

Тогда имеем:
$$\frac{\pi d^2}{4} \cdot \Delta h = \frac{\pi (d+s)^2}{4} \cdot n\Delta h - \frac{\pi d^2}{4} \cdot n\Delta h$$

или

$$s = d \left(\sqrt{1 + \frac{1}{n}} \pm 1 \right)$$

Чем больше n , т. е. высота цилиндра, тем меньше s . Это же выражение показывает, что чем больше d при прочих равных условиях, тем больше s , ибо при

$$n = \text{const.}, \sqrt{1 + \frac{1}{n}} \pm 1 = \text{const.}$$

$$s = kd$$

Таким образом, величина вертикального обжатия, скорость его, высота и диаметр деформируемого бруска, свойства металла и его температура оказывают существенное влияние на тип и форму деформации.

Если вместо цилиндра подвергать обжатию под прессом брусок квадратного или прямоугольного сечения, то характер деформации бруска несколько осложняется в том отношении, что после деформации формула квадрата или прямоугольника нарушается: стороны квадрата или прямоугольника становятся выпуклыми, кривыми линиями и сечение стремится приобрести вид круга.

Процесс деформации металла в валках во многом существенным образом отличается от такового под прессом, как это мы выяснили выше и будем иметь случай еще раз детально рассмотреть ниже; однако происходящее и здесь вертикальное обжатие металла несомненно влечет за собой растекание металла во все стороны, способствуя истечению его в продольном направлении (в направлении вытяжки) и производит „уширение“ в поперечном направлении.

В виду этого вполне понятным является то обстоятельство, что при определении уширения его вычисляют в функции вертикального обжатия, как главного фактора уширения.

В настоящее время имеет широкое распространение данная Жезом формула:

$$z = k(H - h)^1.$$

для определения уширения при прокатке, хотя это выражение неправильно предполагает зависимость уширения *только от одного вертикального обжатия или*, как принято выражаться, „давления“.

Жез дает следующие значения коэффициенту k в этом выражении: для сварочного железа $k=0,48$, для литого железа или стали $k=0,35$.

В. Тафель² дает для литого железа при температуре

выше $1000^\circ k=0,25$

ниже $1000^\circ k=0,33$

Этот коэффициент Жеза в виду его простоты имеет, как уже сказано, всеобщее распространение при расчетах калибровки в плоских ручьях, при чем большинство авторов считает его во многих случаях близким к действительности.

Насколько, однако, они отступают от действительности во многих случаях прокатки даже в гладких валках видно из данных опытов Дени, Шельда, Метца и др. (см. табл. 3 — 6).

В опытах Шельда³ коэффициент Жеза заключается от 0,875 до 0,125, увеличиваясь с уменьшением толщины прокатываемой полосы и уменьшаясь с увеличением последней.

В опытах Дени (правда, для свинца) при обжатии 3 мм⁴ коэффициент Жеза изменяется от 0,9 до 1,4, увеличиваясь с увеличением диаметра валков (таблица 5); при обжатии 4,5 мм этот коэффициент изменяется от 1,4 до 2,87, также возрастаая с увеличением диаметра валков (таблица 5).

В опытах Метца этот коэффициент изменяется от 0,09 до 1,18 при почти постоянном диаметре валков.

Опыты Метца⁵

Таблица 3

B	H	b	h	d	φ	$H-h$	Z	Жез k
25,5	21,5	38,8	7,2	24,5	22°54'	18,3	13,3	0,73!
39	7	39,5	5,23	262	6°40'	1,77	0,5	0,78
5,3	39,9	5,51	37,45	228	8°25'	2,45	0,21	0,09!
37,5	5,75	40,25	3,16	248	8°14'	2,56	2,75	1,08!
40,3	3,2	40,15?	2,31	255	4°47'	0,89	0,15	?
26,5	26,5	37,0	9,01	245	22°46'	17,46	10,5	0,60
37,0	9,04	38,8	5,95	262	8°45'	3,08	1,8	0,60
5,9	38,7	6,45	32,3	233,5	13°27'	6,4	0,55	0,09!
32,2	6,4	35,24	3,39	248	8°56'	3,01	3,04	1,01!
36,0	3,4	36,0	2,52	255	4°46'	0,88	1,00	1,14!
42,0	16,9	47,5	10,2	245	13°26'	4,7	5,5	1,48!
47,3	10,2	48,5	6,26	262	9°57'	8,94	1,2	0,3
25,2	21,3	35,3	12,1	258	17°41'	12,2	10,1	0,83!
25,4	24,4	31,5	11,1	257	18°29'	13,3	6,1	0,46
25,6	25,6	20,5	21,5	—	5°17'40"	1,1	0,9	0,82
29,0	29,7	30,7	25,0	—	10°6'12"	4,0	1,7	0,42
—	—	32,0	23,2	—	12°10'20"	5,8	3	0,52
—	—	32,6	21,0	—	14°18'20"	8,0	3,6	0,45
—	—	35,6	18,8	—	16°10'	11,8	6,6	0,56
—	—	37,2	14,3	—	19°26'6"	14,3	8,2	0,58

¹ Принимаем наиболее употребительные обозначения.

² Тафель, Walzen und Walzenkalibrieren. 1925. Русский перевод инж. А. В. Ракова под ред. проф. А. И. Виноградова, 1927, стр. 43.

³ Stahl und Eisen, 1910 стр. 413—419

⁴ Е. Дени. Etude sur le laminage, Paris 1878, стр. 80 (коэффиц. вычислен мною), также таблица IV.

⁵ Перев. Широковского, „Вопросы мет.“, стр. 278.

Столь значительное отступление от принятого Жезом и Тафелем размера коэффициента уширения заставляет считать последний совершенно недопустимым.

Причина этого обстоятельства, несомненно, кроется в том, что кроме размера вертикального давления весьма большое влияние на уширение оказывают другие факторы деформации металла при прокатке. Так, например, весьма существенно, проходит ли в том или другом случае деформация в двух стадиях или только в одной — стадии штампования. Несомненно, большую роль в размере уширения играет скорость деформации, свойства металла, состояние поверхности валков, т. е. коэффициент трения, а также и температура металла.

По исследованиям К. Румеля,¹ производившимся над изучением деформации глины, трение о поверхность бойков оказывает существенное влияние на форму обжатого цилиндрика: при наличии значительного трения материал вблизи трущихся поверхностей уширяется крайне мало, при уничтожении или ослаблении трения — уширение становится значительным, легко достигая своей нормы.

Оставляя пока в стороне вопрос о типе уширения, отметим, что в то время как при обжатии под прессом цилиндра уширение, отнесенное к высоте его, является почти исключительно вполне определенной функцией величины вертикального обжатия, уширение полосы в валках а priori представляет более сложное явление, так как условия деформации в последнем случае существенно отличаются от прессования. Самым существенным отличием в прокатке является непрерывное смещение „очага деформации“ или непрерывное прохождение полосы через весьма разнообразное и неоднородное „силовое поле“. Например, при одном и том же обжатии разные диаметры валков дают разные размеры и характер силового поля; вторым, также существенным, отличием в прокатке является то обстоятельство, что непрерывная подача полосы в силовое поле производится обжимающими поверхностями, вследствие чего подвергающийся деформации элемент полосы при прогрессирующем его обжатии перемещается в силовом поле, подвергаясь действию тянущих сил трения. Различия в температуре металла и валков, в состоянии поверхности валков дают различные условия для трения, а, следовательно, и характер истечения металла. Скорость деформации продвигающегося в силовом поле металла также изменяется, постепенно возрастая, при постепенно падающем изменении обжатия. Одна и та же величина обжатия при прокатке дает различный эффект в смысле уширения, если диаметры валков, температура металла, состояние поверхности валков, скорость деформации не тождественны. Это констатируется специальными исследованиями и повседневным опытом.

Однако ни данные опыта, ни результаты исследования до сих пор не установили более или менее точно законов, коим подчиняется уширение, хотя и накоплен довольно значительный материал, направленный на их выяснение.

Рассмотрим вкратце влияние различных факторов прокатки на уширение, кроме рассмотренного уже влияния вертикального обжатия.

Влияние ширины полосы

До последнего времени принято считать, что уширение происходит преимущественно на боковых кромках полосы, в то время как середина полосы подвергается только вытяжке.

Опыты Дени подтверждают это положение.

На основании этих опытов считается, что *уширение не зависит от ширины полосы.*

Шельд² своими опытами также подтверждает это положение.

¹ К. Румель. Stahl und Eisen. 1919 г., стр. 237, 267, 285.

² Stahl und Eisen. 1910 Das Breiten beim Walzen

Однако произведенные в последнее время исследования уширения Метца¹ указывают, что уширение *незначительно* увеличивается с уменьшением ширины полосы.

То же обнаружили опыты Тафеля². Последний дает этому объяснение с точки зрения своей теории уширения на кромках: впрочем, он и сам, повидимому, считает свою теорию недостаточно обоснованной. Уширение металла на кромках должно влечь за собою уменьшение вытяжки его на кромках. Однако, вследствие влияния соседних частиц³ вытяжка кромок согласуется с общей вытяжкой полосы: поэтому уширение кромок сопровождается утяжкой их в вертикальном направлении, утоньшением металла в кромках. Это утоньшение кромок тем заметнее, чем шире полоса. Это можно объяснить тем, что влияние вытяжки соседних частиц на кромки здесь весьма сильно. Наоборот, в узких полосах вытяжка кромок весьма мало подчиняется вытяжке сравнительно узкой центральной части полосы и, наоборот, в некоторых случаях (весьма узкие полосы) может подчинить себе вытяжку центральной части полосы. В последнем случае металл течет из центральной части к кромкам, питая их и усиливая их уширение; утоньшения кромок не замечается.

Таким образом можно объяснить наблюдения Тафеля и Метца о большем уширении узких полос. Этим же можно объяснить наблюдавшееся Метцем большее перемещение в стороны металла в центральных частях по сравнению с перемещением металла в направлении уширения в кромках.

Отметим, что до сих пор еще не установлена точная зависимость уширения от ширины полосы, но практически при прокатке в гладких валках или плоских ручьях этой зависимости, повидимому, можно почти всегда пренебречь, считая, что уширение не зависит от ширины полосы.

С точки зрения нашей теории деформации металла при прокатке ширина полосы должна оказывать некоторое влияние на уширение.

Вспомним, что в первой стадии прокатки полоса испытывает вертикальное давление, проволочиваясь через открытую с двух сторон щель; во второй стадии — металл штампуется также в открытую с двух сторон и спереди щель. В эти щели металл устремляется относительно окружной скорости поверхности валков вперед — со скоростью теоретического опережения и назад — со скоростью теоретического попятного движения, если принять, что уширению препятствуют боковые стенки ручья. Если же боковые стенки отсутствуют, то, очевидно, металл должен также устремиться в той и другой зоне деформации в стороны со скоростью, зависящей от скорости соответственно теоретического опережения и попятного движения.

В первой стадии деформации металл раздавливается между поверхностями валков и стержнем сопротивления, при чем в направлении прокатки металл испытывает лишь междучастичное трение, в направлении же перпендикулярном — в стороны металл испытывает кроме того поверхностное трение о валки⁴. Чем больше ширина полосы, тем больше это последнее сопротивление и тем менее должно быть уширение на толщине активного слоя.

Во второй стадии прокатки — в стадии штампования — истечению металла как в стороны, так и вперед, одинаково препятствуют сопротивление междучастичного и поверхностного трения, и здесь, вероятно, ширина полосы не оказывает существенного влияния на уширение. Но в результате общей деформации увеличение ширины полосы должно сопровождаться несколько меньшим уширением.

Современное состояние наших знаний о свойствах пластичных тел не позволяет установить количественной характеристики этого явления.

¹ R. de Metz, 1926, № 1 и 2.

² Проф. в. Тафель, Walzen und Walzenkalibrieren, 1923, стр. 34 — 35.

³ Вопрос о влиянии соседних частиц хорошо разработан Tafel'ем, Walzen und Walzenkalibrieren, 1923.

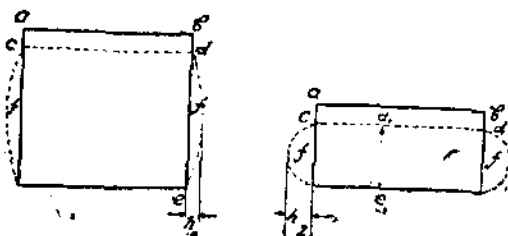
⁴ Это хорошо выяснено Иг. М. Павловым, Ж. Р. М. О, 1929, N 1.

К. Румель¹ только намечает метод изучения пластичных деформаций при практике на основании теории силовых линий.

Влияние толщины полосы

Толщина прокатываемой полосы оказывает значительное влияние на величину и вид уширения.

Если подвергать одному и тому же обжатию толстую и тонкую полосы, то толстая полоса должна дать при этом меньшее в среднем уширение, чем тонкая полоса.



Фиг. 14.

В этом можно убедиться логически, рассуждая следующим образом (фиг. 14):

Количество металла, выжимаемого в стороны, должно быть приблизительно пропорционально массе $abcd$; поэтому площади f должны быть приблизительно равны, а, следовательно, высоты их h_1 и h_2 должны быть приблизительно

обратно пропорциональны высотам de и de_1 .

Опыты Шельда² (таблица 4) подтверждают это рассуждение.

Отношение высот 1:2:4:8

Отношение уширений 7:3,6:2:1.

Отношение уширений почти обратно пропорционально полученным высотам.

Таблица 4
Результаты опытов Шельда

№	До прокатки		После прокатки						
	Высота Δ мм	Ширина ϵ мм	Высота Δ мм	Отношение высот	Ширина ϵ мм	Обжатие $\Delta - \delta$ мм	Уширение ϵ мм	Отношение уширений	Коеф. по Жезу
1	9	50	5	1	53,5	4	3,5	7	0,875
2	14	50	10	2	51,8	4	1,8	3,6	0,450
3	24	50	20	4	51,0	4	1	2	0,250
4	44	50	40	8	50,5	4	0,5	1	0,125

Еще раз обращаю внимание на значительное отступление здесь коэффициента Жеза от рекомендуемого им. Следует обратить также внимание на то, что эти опыты, равно как большинство произведенных опытов других авторов, сделаны при угле захвата меньше угла защемления: поэтому они не охватывают всего явления уширения в обеих стадиях процесса деформации.

Опыты Метца³, производившиеся при более разнообразных условиях, однако не противоречат выводу, сделанному из опытов Шельда.

Толщина полосы оказывает влияние не только на величину, но и на вид уширения. Выше было выяснено, что при обжатии цилиндров под прессом или молотом деформация, а, следовательно, уширение часто распространяется не на всю высоту, но на некоторую только глубину от обеих

¹ К. Румель Stahl und Eisen. 1910, стр. 237, 267, 285, исследование деформации пластичных тел.

² Loc. cit.

³ Опыты Метца над истечением металла при прокатке изложены в следующих двух его работах: 1. „Опытное исследование горячей прокатки железа“. Перевод В. Широкого. „Вопросы металлургии“. 1926 г. стр. 268—271. Оригинальная статья помещена в Revue Univ. des Mines. 1923 г., т. XVI, N 5. 2. „Опытное исследование горячей прокатки железа“. Revue de Metallurgie 1926 г., N 1, 2. В этой работе публикуется вторая серия опытов.

поверхностей, соприкосающихся с бойком молота. Совершенно такое же явление имеет место при прокатке толстых полос или при обжиге слитков в блюминге. При одной и той же толщине слитков глубина деформации, а вместе с ней и распространение уширения, тем глубже, чем больше обжатие и чем меньше скорость деформации.

На основании изучения деформации винтов, вставленных в тело прокатываемых квадратных и прямоугольных полос, Метц заключает, что уширение является максимальным в местах соприкосновения с вальками: на половине толщины полосы уширение достигает своего минимума; иногда оно здесь равно нулю, иногда же можно констатировать даже уменьшение ширины полосы в середине толщины ее.¹

По мнению Метца,² первый период прокатки, отвечающий нашей первой стадии, т. е. от угла захвата до угла защемления, особенно благоприятен для уширения, хотя для этого им не приводится доказательств.

В этом периоде прокатки с точки зрения нашей теории уширение развивается следующим образом.

В начале захвата металла происходит уширение вблизи поверхностей валков, так как стержень сопротивления не поддается пластичной деформации и, следовательно, уширению.

По мере того, как деформация приближается к критическому сечению и стержень сопротивления выклинивается, все больше и больше сближаются между собою уширяющиеся активные слои и вблизи критического сечения уширенная поверхность обеих граней сглаживает центральную вогнутость и даже может приобрести в некоторых случаях выпуклый вид.

Нужно думать, что во втором периоде прокатки — в периоде „штампования“ боковые грани совершенно сглаживают в себе остатки вогнутости и еще более усиливают выпуклость. Этот процесс изменения вида граней очень хорошо можно наблюдать при прокатке котельного листового железа, благодаря медленности процесса. При прокатке узкого полосового железа вследствие усиленного истечения металла от центра к периферии³, обычно вогнутости боковых граней не замечается.

Влияние диаметра валков

Влияние на величину уширения диаметра валков или, что то же, величины угла захвата, доказано специальными опытами Дени на прокатке свинца (таблица 5).

Таблица 5

Опыты Дени

№	D мм валка	H мм толщ.	H—h сбж.	z ушир.	Козф. по Жезу	φ уг. захв.	H—h	z	φ	Козф. по Жезу
1	210	8,3	3,10	2,8	0,9	10°	4,5	6,3	12°	1,4
2	410	8,3	3,01	3,8	1,3	7°	4,45	10,9	8°30'	2,45
3	600	8,3	3,08	4,3	1,4	5°30'	4,5	12,9	7°	2,87

Приведенные опыты Дени над влиянием диаметра валков на уширение вполне оправдывают практическое правило: „большие валки давят металл, малые валки тянут металл“. Опыты Дени были сделаны в условиях малых углов захвата (до 12°), т. е. относятся к условиям деформации только в области „штампования“.

¹ Loc. cit стр. 283.

² Loc. cit. стр. 277 — 278.

³ См. Метц, цит. выше.

⁴ Е. Дени. Etudes sur le laminage. Paris, 1878. стр. 83.

Опыты Метца охватывают углы захвата от 7,5 до 20°, но, к сожалению, проделаны с небольшой сравнительно разницей диаметра валков.

По данным опытов Метца¹

Таблица 6

Опыт	Проп.	d_b	d_n	b_0	h_0	b_1	h_1	Δh	z	k	φ	μ
I	1	325	316	43	43	51,3	28,9	14,1	8,3	0,59	около 17°	1,247
II	1	325	316	43	43	51,3	28,9	14,1	8,3	0,59	17°	1,247
.	2	334,5	325	51,3	28,9	59,5	14,7	14,2	8,2	0,58	17°	1,681
						60,5			9,2	0,65		
III	1	245	240	24	24,5	35,5	9,6	14,9	6,5	0,43	20°	1,944
						32,5			8,5	0,57		
IV	1	245	240	24,5	24	30,5	9,6	14,4	6,0	0,42	20°	1,944
						32,5			8,0	0,55		
.	2	262	247,5	30,5	9,6	32	6,5	3,1	1,5	0,50	8°	1,410
				32,5		31						
V	1	231	238	30	30	31,1	26,6	3,1	1,1	0,32	10°	1,088
.	2	—	—	31,1	26,6	31,4	24,7	1,9	0,3	0,16	7,5°	1,066
.	3	—	—	31,4	24,7	31,7	22,7	2	0,3	0,15	7,5°	1,077
.	4	—	—	31,7	22,7	32,5	20,8	1,9	0,3	0,42	7,5	1,064
VI	1	—	—	30	30	33,6	20	10	4,6	0,46	17°	1,300

Вычисления, сделанные мною по данным этих опытов (см. таблицу 6), показывают, что уменьшение диаметра от 335 мм до 230 мм влечет за собою уменьшение уширения относительно величины вертикального обжатия; коэффициент $\frac{z}{H-h}$ падает от 0,65 до 0,15, хотя и не всегда.

С точки зрения нашей теории увеличение диаметра валков увеличивает длину зоны второй стадии деформации и, следовательно, увеличивает теоретическое опережение, а вместе с тем и уширение в этой стадии.

Одновременно укорачивается длина зоны первой стадии деформации, при чем соответственно уменьшается и уширение. Таким образом влияние диаметра валков осложняется влиянием угла захвата, в зависимости от большего или меньшего преобладания в процессе деформации второй стадии его.

При прочих равных условиях, чем больше диаметр валков, тем меньше угол захвата: поэтому обычно считается, что с уменьшением угла захвата уширение увеличивается на основании установленного практикой наблюдения о раздавливающем действии больших валков.

На основании сказанного о роли различных стадий деформации мы должны думать, что наибольшее влияние диаметра валков на уширение сказывается при углах захвата, отвечающих второй стадии деформации.

Опыты Зибеля,² приведшие его к следующей формуле:

$$z = kl_a \frac{H-h}{H},$$

подтверждают влияние на уширение длины области деформации

$$l_a, H-h \text{ и } H.$$

Эта формула приводится к формуле Жеза при $l_a = H$:

$$z = k(H-h),$$

которая, следовательно, является частным случаем формулы Зибеля.

¹ Н. Метц „Опытное исследование горячей прокатки железа“ „Вопросы металлургии“ 1926 г. стр. 268—271.

² Stahl und Eisen 1930 г., 18 дек.

Величина коэффициента по опытам Зибеля равна приблизительно 0,35 — для прокатки полос (D — от 230 до 40 мм). Меньший коэффициент — при температурах выше 1000°, больший — при более низких температурах.

Влияние качества металла

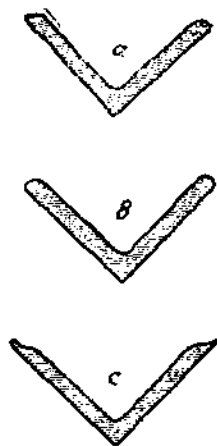
Влияние качества металла на уширение совершенно не выяснено, если не считать предложения Жеза, который дает больший коэффициент относительного уширения для сварочного железа (0,48) по сравнению с таковым для литого железа (0,35).

С нашей точки зрения, поскольку качество металла влияет на коэффициент трения, а, следовательно, на угол защемления и опережения, а также на скорость распространения деформации, оно должно оказывать также влияние на уширение.

Влияние температуры металла

Кроме опытов Дени над влиянием температуры железа на величину уширения, специальных опытов в этом направлении не производилось. Указанная ниже зависимость основывается, главным образом, на повседневном производственном опыте.

Исследуя влияние температуры металла на величину уширения, Дени пришел к выводу¹, что уширение железа увеличивается с понижением температуры прокатки. Проф. В. Е. Грум-Гржимайло² говорит: „Повседневная практика прокатного дела указывает нам, что уширение застуженного металла всегда больше уширения горячо прокатанного. Если катать угловое железо, то получение идеально правильного профиля представляет неодолимые трудности. Чуть-чуть застуженная полоса дает железо с заусенками (фиг. 15 а), прокатанная слишком горячо дает невыполненные кромки (фиг. 15 в). Если слиток или заготовка, из которой катается уголок, был нагрет не совсем ровно и один конец его выдан из печи холоднее другого или просто застужен, то холодный конец уголка выйдет с заусенком, а горячий — не выполнится. Фигура 15 а представляет нормальный профиль“.



Фиг. 15.

Это явление тот же автор предлагает объяснить следующим образом: „Под влиянием образующегося позади валков очага давления металл течет вперед и в бока. Свободному истечению назад, т. е. вытягиванию, препятствуют две причины: 1) вязкость металла, одни частицы коего, увлекаемые трением валков, направляются вперед, а другие, выжимаемые силой Q (фиг. 16), — назад; 2) трение между частицами металла и материалом валков во время скольжения выжимаемой полосы назад, т. е. ее попятного движения.“

Для истечения металла вперед (опережение) существует только одно препятствие — вязкость металла, ибо для осуществления опережения необходимо, чтобы внутренние частицы полосы двигались скорее наружных; влияние трения между валками и полосой здесь, вероятно, очень незначительно. Наконец, для уширения в кромках препятствие составляет только трение между материалом валков и металлом; вязкость металла очень значительной роли при этом не играет.

Дени думает, что повышенное уширение при понижении температуры происходит вследствие уменьшения с понижением температуры коэффициента трения между чугуном и железом. В пользу такого уменьшения

¹ Е. Дени. Etudes sur le laminage. 1878, стр. 85.

² Металлургия стали, ч. II, стр. 32-34, изд. 1909 г.

коэффициента трения основательных доводов им не приводится, а потому можно считать, что при пониженной температуре увеличивается опережение металла и уширение за счет вытягивания, потому что сопротивление вытягиванию с понижением температуры возрастает в такой степени, что металл, следуя путем наименьшего сопротивления, направляется в сторону уширения и опережения.

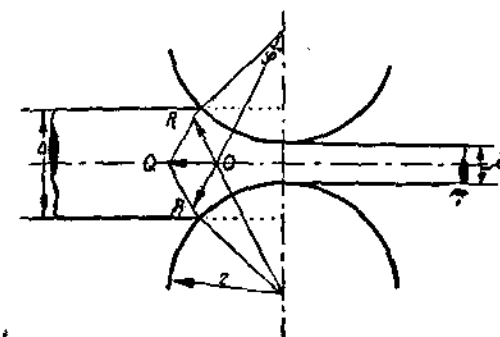
Не настаивая на этом объяснении, мы должны считаться с фактом, что с понижением температуры уширение увеличивается.

С точки зрения изложенного объяснения, логически необходимо прийти к заключению, что качество металла должно оказывать на уширение такое же влияние, как и температура, ибо вместе с твердостью увеличивается вязкость и, следовательно, более твердый материал должен давать более

значительное уширение. Однако это противоречит предложению Жеза, по которому более твердый материал дает меньшее уширение.

Необходимо отметить вместе с тем, что исследования Шельда¹ (1920 г.), подтвердив влияние давления на уширение и независимость его от ширины бруска, привели его к выводу, что температура и качество металла не оказывают влияния на величину уширения.

Известный в практике факт, что при прокатке слегка остывших полос получается большее уширение, Шельд



Фиг. 16.

объясняет тем, что холодные полосы выходят из черновых валков несколько толще, чем следует, вследствие более сильного подвятия черновых валков упругостью металла.

Такие полосы, поступая в валки окончательной отделки, подвергаются большему обжатию, вследствие чего увеличивается и их уширение.

Таким образом факт влияния температуры металла на уширение остается необъясненным.

По опытам Метца (вторая серия) понижение температуры металла влечет за собой увеличение уширения, что автор связывает с повышением коэффициента трения при понижении температуры.

Однако Метц находит, что в тоже время повышение коэффициента трения препятствует скольжению металла по валкам в стороны и таким образом понижает уширение.

Этим объясняется, что валки из закаленного чугуна уширяют больше, чем из обыкновенного чугуна, и что уширение достигает максимума при употреблении стальных валков.

С точки зрения нашей теории влияние температуры металла на уширение объясняется увеличением коэффициента трения, а, следовательно, и угла защемления с понижением температуры металла.

Так как по вышеизложенному опережение увеличивается с увеличением угла защемления, то во второй стадии прокатки должно увеличиваться и уширение.

Наоборот, скорость попятного движения с увеличением угла защемления уменьшается, а, следовательно, уменьшается и уширение. В результате влияние понижения температур на увеличение уширения сказывается тем сильнее, чем меньше угол захвата; наибольшего значения это влияние достигает при угле захвата, равном углу защемления.

Степень правильности этого заключения может быть установлена специальными опытами.

¹ Loc. cit.

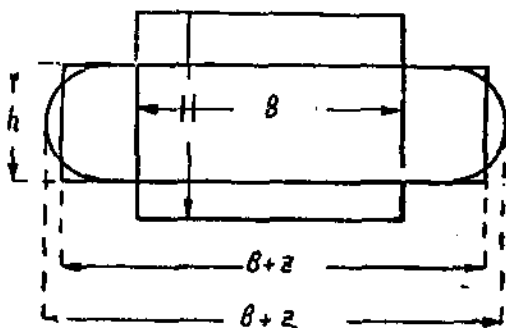
Опыты Зибеля¹ показали, что уширение увеличивается с увеличением охлаждающего действия валков на прокатываемый металл, что видно также из вышеприведенной формулы Зибеля:

$$z = kl_d \frac{H-h}{H},$$

Чем больше $\frac{H-h}{H}$ при данном диаметре валков и данном обжатии $H-h$, тем меньше H и тем, следовательно, сильнее охлаждающее действие валков на металл. С другой стороны, из формулы видно, что с увеличением $\frac{H-h}{H}$ увеличивается уширение.

О ненормально большом уширении обычно заключают по появлению заусенков, что всегда приписывается переполнению ручья металлом.

В действительности заусенка может появиться и без совершенного заполнения калибра именно в том случае, когда активный слой очень тонок и вследствие этого местное уширение металла может достигнуть ненормально большого размера, при чем уширенный пластичный металл, упираясь в стенку калибра и в стержень сопротивления, устремляется в свободную щель между валками и вызывает в дальнейшем образование заусенки; среднее уширение, отнесенное ко всей толщине полосы, при этом может оказаться даже ниже нормы и в некоторых случаях калибр может быть даже не совершенно заполнен в стальных частях. В этом случае происходит явление местного вынужденного уширения вследствие пониженной вытяжки стержня сопротивления, хорошо известное прокатчикам.



Фиг. 17.

При изучении явления уширения вообще необходимо обратить внимание на возможность повышенного местного уширения в области активного слоя до вступления металла в область штампования вследствие пониженной вытяжки стержня сопротивления.

По вступлении в последнюю область уже осуществленное местное повышенное уширение может оказать свое действительное дальнейшее развитие заусенки.

При изучении фактического уширения в гладких валках было бы правильнее измерять не только линейную величину местного уширения, но площадь поперечного сечения вытесненного при уширении металла с вычерчиванием абриса уширенной кромки металла (фиг. 17).

Нормальная средняя линейная величина уширения могла бы быть выведена делением этой площади на высоту калибра, а из максимальной величины местного уширения выявилась бы толщина активного слоя в разных условиях прокатки. При такой постановке изучения уширения, вероятно, удалось бы легче найти интересные прокатчика закономерности в этом явлении.

Влияние коэффициента трения и состояния поверхности валков

Выше попутно отмечалась роль коэффициента трения в этом направлении. Увеличение коэффициента трения, независимо от того, происходит ли оно от свойств прокатываемого металла или от состояния поверхности

¹ Цит. выше.

валков, увеличивает угол защемления, а вместе с тем опережение и, следовательно, уширение во второй стадии деформации.

Следовательно, здесь применимо все то, что было сказано о влиянии понижения температуры металла на уширение.

Но независимо от этого характер состояния поверхности валков, несомненно, может оказывать специфическое влияние на уширение.

Так, например, если мы нанесем на поверхности валков насечку в виде риска, параллельных оси валков, или, наоборот, в виде риска, направленных перпендикулярно оси валков, то, несомненно, получим разное уширение.

В первом случае риски затрудняют фактическое опережение и облегчают уширение, во втором случае риски затрудняют уширение и увеличивают фактическое опережение.

Насечка валков в виде пересекающихся-я риска также, несомненно, окажет сильное влияние на фактическое опережение, а, следовательно, и на уширение, учесть которое наперед весьма трудно.

Глубина насечки также должна оказать значительное и едва ли определяемое наперед влияние на уширение.

Влияние скорости деформации

Вопрос этот совершенно не освещен ни в литературе, ни в практике.

Однако не может быть сомнения в том, что скорость деформации должна оказывать свое влияние на уширение, как это мы видели при рассмотрении процесса деформации металла при вертикальном обжатии под молотом. Возможно, впрочем, что это влияние оказывается слишком незначительно и практически незаметно, но возможно, что в некоторых случаях, особенно при низкой температуре прокатки, оно сказывается в заметной доле участия в образовании заусенок, о чем было сказано выше.

Возможно, что в этом влиянии скорости деформации на уширение скрывается отчасти причина того, что дающая хорошие результаты калибровка на одном заводе плохо идет на другом.

Скорость деформации должна быть тем меньше, чем толще обрабатываемый предмет, чтобы деформация успела распространиться на всю толщину полосы.

Поэтому в блюмингах всегда применяется сравнительно малая скорость деформации.

Чрезмерно большая скорость деформации при этом может повлечь за собою большое местное уширение бляма вблизи поверхностей соприкосновения болванки с валками и весьма малую вытяжку. В этом случае стержень сопротивления может распространиться на всю длину прокатываемой полосы.

Для того, чтобы стержень сопротивления выклинивался в критическом сечении, необходимо согласовать обжатие, диаметр валков, скорость деформации и высоту прокатанной полосы между собою.

Для объяснения всех описанных влияний на уширение был предложен ряд теорий деформации металла в валках и сделан ряд попыток установить количественную зависимость уширения от упомянутых факторов в виде формул.

Главнейшие из них следующие:

Е. Дени, „Etudes sur le laminage“ 1878. Работа, положившая основание теории прокатки.

Е. Блясс, Р. Дален и Кольман. Результаты опытов специальной комиссии при союзе германских металлургов, доложенные в общем собрании союза 29 мая 1881г. Stahl und Eisen. 1881, № 2, стр. 57—85. Эти опыты не дали значительного материала в дополнение к данным Дени для уяснения сущности процесса прокатки и его факторов; причиною этому было то обстоятельство,

что, занявшись изучением прокатки сложных профилей, комиссия уделила слишком мало внимания недостаточно изученным элементарным явлениям при прокатке.

Блясс (Stahl und Eisen), 1882, № 27, стр. 283—293. В этой работе автор, один из членов вышеупомянутой комиссии, излагает теорию прокатки, основанную на теории призм и конусов скалывания при деформации твердых тел предложенной Киком.

В результате автор дает для уширения следующую формулу:

$$z = \frac{H \operatorname{tg} \alpha}{2} \cdot \frac{1 - \left(\frac{h}{H}\right)^2}{\frac{h}{H}},$$

где α — угол скалывания неопределенной величины.

А. Брово в „Das Kalibrieren der Walzen“ придерживается формулы Блясса, принимая $\alpha = 45^\circ$.

Голленберг. „Bemerkungen zu den Vorgängen beim Walzen von Eisen, Stahl und Eisen“ 1883, № 2, стр. 121—122. Автор отмечает некоторую точку a на поверхности валков в области деформации, в которой принимает скорость металла равной окружной скорости валков, в то время как скорость металла впереди этой точки больше, а сзади меньше окружной скорости валков.

Указывая на необходимость существования этой точки, автор не определяет ее положения за недостатком данных. Эта точка в нашей теории отвечает положению критического сечения.

Кроме того, автор в этой статье приводит по памяти изображение искривления после прокатки вставленных им в полосу перед прокаткой железных стержней.

Этот опыт Голленберга играет большую роль в большинстве последующих работ по теории деформации металла в валках.

Е. Кирхберг. „Grundzüge der Walzen kalibrierung“ 1900. Автор пользуется теорией призм скалывания и в отношении уширения предлагает следующую эмпирическую формулу:

$$z = 2(H - h) \cdot 0,01 \cotg \varphi,$$

где φ — угол захвата.

И. Пуппе. „Versuche zur Ermittlung des Kraftbedarfs etc.“ 1909. Исследование прокатки было возобновлено упомянутой выше комиссией при союзе германских металлургов в 1908 г.

Результаты исследования и представляет эта статья инженера Пуппе, как одного из деятельных его участников.

А. Фальк. „Die Breitungen des Eisen sin Glat Walzen“. Stahl und Eisen, 1910 г. № 47 стр. 1991 и затем Die Theorie der Materialwanderung beim Walzen und Schmieden. № 20 21. Автор, возражая против применения теории призм скалывания к объяснению явлений деформации металла при прокатке, придает большое значение коэффициенту трения и дает формулы для уширения для угла захвата $\varphi = 18^\circ 30'$

$$B = \sqrt{\frac{0,5(H - h)b(H + h)}{h}} + b^2,$$

где b — начальная и B — конечная ширина полосы.

Е. Шельд. „Das Breiten beim Walzen Stahl und Eisen“ 1910, стр. 415—419. Доказывая опытами отсутствие влияния на уширение температуры, качества металла, скорости валков и ширину полосы, автор на основании своих опытов дает эмпирическую формулу для уширения

$$z = \frac{\pi D \varphi}{360} \cdot \frac{H - h}{h} \sin \varphi.$$

К. Руммель. „Исследование деформации пластичных тел“. Stahl und Eisen 1919 г., март, стр. 237, 267 и 385. В основе работы Руммеля лежит положение, что степень пластичности не влияет на характер деформации и поэтому возможно производить изучение характера деформации на глине, как это делал Кик, и по этим опытам судить о характере деформации железа и стали.

Так как по его мнению сопротивления деформации пропорциональны коэффициентам крепости, то можно на основании изучения деформации одного вещества переносить полученные выводы на любое другое вещество, введя соответствующий коэффициент.

В виду весьма сильного влияния на процесс деформации температуры металла, неравномерности нагрева, сильного местного охлаждения металла в соприкосновении с валками, автор считает, что изучение законов деформации может быть успешно проводимо только над пластичным материалом при обыкновенной температуре.

Следует также упомянуть следующие работы, относящиеся к трактуемому вопросу, на которые отчасти давались ссылки выше:

Н. Метц. „Опытное исследование горячей прокатки железа“, Revue des Mines. 1923, XVI, 5 и Revue de Mét. 1926, № 1 и 2.

Головин А. Ф. „Прокатка“. г. Свердловск, 1925 г.

Е. Зибель. „Сопротивление деформации и истечение металла при прокатке. Stahl und Eisen, 1930, 18 декабря. $z = kl_a \frac{H-h}{H}$.

Все приведенные работы и предложенные в них формулы, однако, совершенно не удовлетворяют прокатчиков в отношении определения уширения. Вычисленные по ним уширения оказываются в большинстве случаев совершенно ненадежными и не отвечающими действительности. Поэтому предпочитают пользоваться ради простоты в предварительных вычислениях калибровки или формулой для уширения данной Жезом, или собственным опытом.

Основным недостатком предложенных теорий и формул для вычисления уширения является то обстоятельство, что в них не принято во внимание различие в характере деформации в разных периодах прокатки, а именно — в первом периоде, когда полоса, по преимуществу, проволачивается, и во втором периоде, когда она штампруется; вторым недостатком является то обстоятельство, что ни одна из них не охватывает всех факторов прокатки, приписывая исключительное влияние лишь некоторым из них.

Опыты, предпринимавшиеся для изучения уширения, точно также игнорируют указанные обстоятельства в большей или меньшей мере и представляют поэтому несистематичный материал.

Поэтому мне кажется необходимым установить такой вид формулы для вычисления уширения, в котором можно было бы выявить роль каждого периода прокатки и кроме того ввести в учет, по возможности, все факторы прокатки.

Такой вид формулы для уширения позволил бы собирать систематический материал для детального изучения явления уширения и выработки необходимых для вычисления коэффициентов.

Изложенная выше (гл. I и II) теория деформации металла в валках дает возможность, как мне кажется, наметить более или менее рациональную конструкцию формулы для определения уширения, вмещающую в себе в явном или скрытом виде все главнейшие факторы, влияющие на уширение, и охватывающую обе указанные выше стадии процесса.

Уширение полосы между валками следует разбить на две стадии: первая — уширение полосы от момента захвата ее валками до момента защемления в критическом сечении (обозначим эту часть уширения через z_1); вторая — от момента защемления до момента выхода ее из линии центров валков (z_2).

Отсюда полное уширение z в обеих стадиях:

$$z = z_1 + z_2.$$

Выше мы видели, что волочение металла в первой стадии процесса вызывает отставание металла, попятное движение, которое при условии отсутствия возможности перемещения металла в стороны, т. е. уширения, выражается через

$$y_0 = 1 - \frac{h + d(1 - \cos \gamma)}{H \cos \varphi} \cos \gamma.$$

Если прокатка ведется в гладких валках, то в этой стадии металл будет выжиматься не только назад, но и в стороны, т. е. уширяться.

Так как y_0 — мера возможного перемещения металла, то можно принять, что y_0 является также мерой уширения, т. е. $z_1 = f(y_0)$. Точно также мы видели, что штампование металла во второй стадии процесса при отсутствии возможности уширения выражается через

$$y = \frac{[h + d(1 - \cos \gamma)]}{h} \cos \gamma - 1.$$

Если прокатка ведется в гладких валках, то и в этой стадии процесса металл будет устремляться не только вперед, но и в стороны, т. е. уширяться.

Так как y — есть мера возможного перемещения металла, то можно принять, что y является также мерой уширения во второй стадии процесса, т. е.

$$z_2 = f(y).$$

Величины y_0 и y являются функциями угла защемления γ , толщины прокатанной полосы h , диаметра валков d ; угол защемления γ в свою очередь является функцией коэффициента трения, температуры металла консистенции или качества металла; y_0 является функцией угла захвата φ , т. е. при данном диаметре валков функцией давления $H-h$; точно также y_0 — является функцией d и γ .

Отсюда, суммарное уширение является в предлагаемом выражении функцией всех главнейших факторов прокатки, влияние которых на уширение констатировано упомянутыми выше наблюдениями и практикой.

В выражении уширения следует ввести еще один член, отражающий влияние на уширение различных случайных или специальных факторов, которые обозначим через x . Сюда относится, например, специальная шероховатость валков, насечка того или другого рода, неоднородность металла по качеству и по нагреву и т. п.

Окончательно выражение уширения должно иметь вид:

$$z = f(y_0) + f(y) + f(x).$$

Для установления вида указанных функций необходимо проделать ряд систематических опытов. Но предварительно можно подойти к этому следующим образом: необходимо выразить y_0 и y в единицах длины. Для этого отнесем их к определенной начальной длине для стадии опережения на пути точки валка, делающего поворот на угол γ , примем длину области опережения, т. е. $r \sin \gamma$, а для стадии попятного движения на пути точки валка, делающего поворот на угол $\varphi - \gamma$ примем длину области попятного движения, т. е.

$$r(\sin \varphi - \sin \gamma).$$

Тогда теоретическое смещение металла, т. е. при отсутствии возможности уширения в среднем в единицах длины вперед и назад относительно поверхности валков в точках впуска и выпуска полосы выразится через

$$y r \sin \gamma + y_0 r (\sin \varphi - \sin \gamma).$$

Смещение металла в стороны, т. е. уширение, должно составлять некоторую часть от указанных смещений, что можно выразить следующим образом:

$$z = m\gamma r \sin \gamma + n\gamma_0 r (\sin \varphi - \sin \gamma) + \Delta z, \quad (8)$$

где m и n — некоторые коэффициенты, определение которых возможно сделать только на основании систематических опытов, и Δz — некоторое положительное или отрицательное приращение, как $f(x)$.¹

Вероятно, величина этих коэффициентов зависит от отношения ширины полосы к длине очага деформации, от коэффициента трения, состояния поверхности валков и скорости деформации.

Для разработки вопроса о коэффициентах уравнения (8) необходимо произвести ряд опытов в условиях производства или на опытном прокатном стане.

Применение выведенной формулы имеет в виду нормальную прокатку, т. е. такую, при которой стержень сопротивления выклинивается не далее критического сечения. Для пояснения этого рассмотрим несколько случаев возможной прокатки.

Возьмем две полосы: одну в 3 мм и другую в 50 мм толщиной, дадим и той и другой полосе одинаковое вертикальное обжатие в 2 мм в валках, например, 400 мм диаметром.

И в том и другом случае угол захвата будет меньше 10° . В обоих случаях металл сразу защемляется валками и идет со скоростью, соответствующей скорости угла захвата. Но в первом случае стержень сопротивления совершенно отсутствует и уширение должно быть пропорционально теоретическому опережению. Во втором случае стержень сопротивления проходит насквозь всю область деформации между валками и имеет весьма большую толщину в критическом сечении. Если считать, что за короткий промежуток времени деформация успеет передаться на глубину одинарного или полуторного обжатия, т. е. 2—3 мм, то слой сопротивления будет иметь толщину при выходе из валков $48 - 2 \cdot (2 - 3 \text{ мм}) = 44$ или 42 мм.

Этот толстый стержень как бы „упругого“ металла не прорабатывается валками и не поддается, следовательно, опережению. Последнее может наблюдаться только в верхнем и нижнем активном слое и, сдерживаемое стержнем сопротивления, приблизительно наполовину, выльется в уширение этих активных слоев. Благодаря этому выходящая из валков полоса будет до некоторой степени напоминать двутавровый профиль с весьма толстой ножкой и весьма короткими полками.

Такого рода прокатка не может быть признана нормальной, так как уширение приобретает вынужденный характер и имеет ненормальное местное развитие. Подробнее этот случай будет разбираться в следующей главе о несвободном и вынужденном уширении при прокатке.

Нормальной прокаткой в гладких валках следует считать такой случай, когда толщина выходящей из валков полосы равна или меньше двойной толщины активного слоя, т. е. когда стержень сопротивления выклинивается к моменту защемления полосы в критическом сечении или ранее, не оказывая принудительного влияния на уширение во второй стадии процесса деформации. В этом случае в этой стадии единственными сопротивлениями истечению металла вперед и в стороны являются междучастичное трение в пластичной массе и трение металла о поверхности валков.

Вклиняющийся более или менее глубоко позади критического сечения стержень сопротивления оказывает более или менее значительное принудительное влияние на уширение активного слоя, но это влияние смягчается попятным движением стержня сопротивления, растягивающим пластичную массу в области критического сечения.

¹ При изменении уширения следует брать ширину: $b + z$, а не $b + z_1$ (фиг. 17).

Очень сильное сопротивление уширению металла (например, узкий ручей, низкая температура) в этой стадии при очень большом обжатии и большой скорости деформации, в особенности при плохо раскисленном металле, может повлечь за собой столь сильное попятное движение стержня сопротивления, что в критическом сечении могут образоваться внутренние разрывы (скворечники).

Принимая во внимание сказанное, следует считать, что прокатка тем более приближается к нормальной, чем меньше угол захвата, по крайней мере, чем он ближе к углу защемления.

Этого можно достигнуть или уменьшением обжатия или увеличением диаметра валков.

Для того, чтобы дать количественную характеристику нормальной прокатки в гладких валках, необходимо установить численные взаимоотношения между толщиной выходящей из валков полосы, величиной обжатия, диаметром и числом оборотов валков и температурой металла, обеспечивающие нормальное выклинивание стержня сопротивления.

Этот вопрос требует изучения; однако в качестве ориентировки можно приблизительно принять прокатку нормальной при угле захвата не больше 20° и толщине выходящей из валков полосы не больше двойной или тройной величины вертикального обжатия,

при вышеуказанной толщине активного слоя, при обычных границах температуры металла и скорости прокатки.

Из изложенного видно, что ни одна из предложенных формул не гарантирует точного определения уширения расчетом.

Поэтому в большинстве случаев придерживаются простейшей из формул, именно формулы Жеза, корректируя полученный результат данными опыта.

Введя в формулу Жеза факторы h и D в виде переменного коэффициента при $(H-h)$, можно руководствоваться на практике следующим графиком для приближенного нахождения коэффициента k в формуле

$$z = k(H-h) \text{ (фиг. 18).}$$

При этом имеется в виду свободное уширение, ограниченное боковыми гранями ручья таким образом, что выпуклый мениск уширенной части совершенно заполняет прямоугольный профиль ручья без заусенки и без недовыполнения углов (фиг. 17).

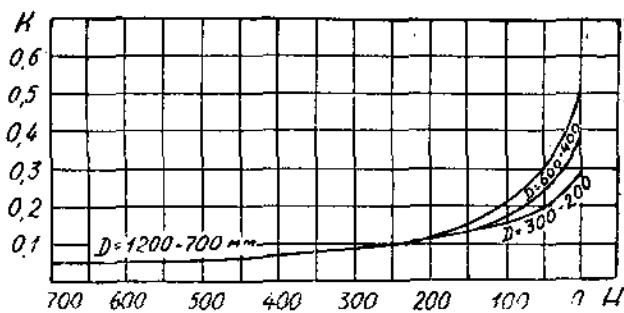
ГЛАВА V

НЕСВОБОДНОЕ И ВЫНУЖДЕННОЕ УШИРЕНИЕ

В фасонных профилях естественное уширение еще более искажается весьма сложным истечением металла из одной части поперечного сечения профиля в другую часть его.

В фасонном профиле металл в разных частях его подвергается разному вертикальному или боковому обжатию и имеет стремление течь из мест большего обжатия в места меньшего обжатия.

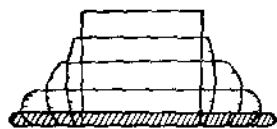
Сущность этого сложного перемещения частиц металла может быть выяснена из следующего рассуждения.



Фиг. 18.

Если прокатка ведется в гладких валках, то уширение свободно, так как не стесняется гребнями валков. В этом случае прокатанный в несколько пропусков квадрат постепенно превращается в полосу с закругленными гранями (фиг. 19).

С каждым пропуском полоса делается все шире и шире, но при этом плоские грани квадрата заменяются выпуклыми, а при большом вертикальном давлении — даже полукруглыми.



Фиг. 19.

При этом возможны случаи, когда вследствие получающихся при выдавливании металла натяжений на поверхности закругленных граней появляются трещины или рванины.

Если прокатываемый металл обладает настолько слабой текучестью, что образовавшаяся трещина не может быть заварена изнутри металлом, то она остается, и при дальнейшей прокатке разворачивается все шире и шире (фиг. 19).

Если полосы катаются в замкнутых ручьях, то свободного уширения не будет, так как оно встречает себе преграду в гребнях валов, и полоса принимает форму ручья (фиг. 20).

Если при этом заданная в ручей полоса будет недостаточно широка, то из ручья выйдет полоса с невыполненными углами (фиг. 21); наоборот, если задается чрезмерно широкая полоса, то уширившийся при прокатке металл не только заполнит весь профиль ручья, но выдавится еще в зазоры между валками, образуя „заусенки“ (фиг. 22).



Фиг. 20.



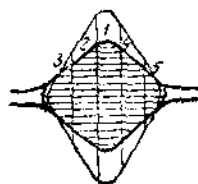
Фиг. 21.



Фиг. 22.

Наконец, если уширение правильно рассчитано и таким образом выбрана нужная ширина задаваемой в ручей полосы, металл при прокатке как раз заполнит весь ручей без избытка и недостатка и выходящая из ручья полоса получит точный и чистый профиль.

Замкнутые ручьи предохраняют железо от трещин, так как даже и при низких температурах получившиеся трещины могут завариться вследствие большого бокового давления; кроме того, образование трещин предотвращается тем, что в замкнутых ручьях давление металла сдерживается не наружной оболочкой, а стенками ручья. Так как сернистый и плохо раскисленный металл склонен давать трещины и рванины вследствие краснотекучести, то такого рода металл следует катать, по возможности, в хорошо замкнутых ручьях, чтобы избежать образования граней, предоставленных свободному уширению.



Фиг. 23.



Фиг. 24.



Фиг. 25.

Особенно чувствительны к трещинам углы болванки. Образование трещин в углах хорошо предотвращается прокаткой болванок в ромбических и стрелчатых ручьях, в которых прокатка идет с поворотом полосы после каждого пропуска на 90° , дающих катанные поверхности со всех четырех сторон, при чем углы попарно то подвергаются свободному уширению, то обжимаются при повороте болванки на 90° .

Трещины на боковых гранях при прокатке в ромбических ручьях не считаются опасными, они закатываются в этих ручьях прекрасно (фиг. 23).

Чередованием между ромбическими или квадратными ручьями овальных ручьев еще лучше предупреждают образование трещин в углах

(ребрах), так как при переходе от ромба (квадрата) к овалу (фиг. 24) углы ромба (квадрата) переходят в грани овала, а грани ромба (квадрата) подвергаются свободному уширению, образуя углы овала.

Последние в следующем ромбическом (квадратном) ручье подвергаются вертикальному давлению, а грани овала образуют горизонтальную пару углов нового ромба и т. д. (фиг. 25).

Уширение в ромбических и овальных ручьях подвергается искажению по сравнению с нормальным уширением прямоугольной болванки в гладких валках.

Рассмотрим прокатку ромбической заготовки в ромбическом ручье (фиг. 23).

Разобьем ромбическую заготовку на 5 вертикальных поясов: центральный — 1-ый, два симметричных средних — 2-ой и 4-ый и два крайних — 3-ий и 5-ый.

Очевидно, 1-ый пояс получает наибольшую вытяжку, так как он подвергается наибольшему вертикальному давлению, наоборот, 3-ий и 5-ый пояса, получающие ничтожное обжатие, вытягиваются меньше всех: средние 2-ой и 4-ый пояса дают промежуточную вытяжку.

Если бы эти пять поясов не были связаны между собою единством вязкого металла, то вытяжка каждого происходила бы независимо; независимо было бы и уширение каждого пояса.

На фиг. 26 представлена прокатка ромбической заготовки в ромбическом ручье, предусматривающем уширение $z = 0,3 (H-h)$.

Размеры ромба, поступающего в ручей, 135×110 ; $Q_1 = 7430 \text{ мм}^2$

Размеры ромбического ручья 118×107 ; $Q_2 = 6320$.

Средняя вытяжка следовательно $\mu_{cp} = \frac{7430}{6320} = 1,176$.

Вычислим натуральные вытяжки для каждого из 11 вертикальных слоев, на которые разбито поперечное сечение ромба и калибра:

$$\text{В 1 и 11 слоях } \mu_{1,11} = 1$$

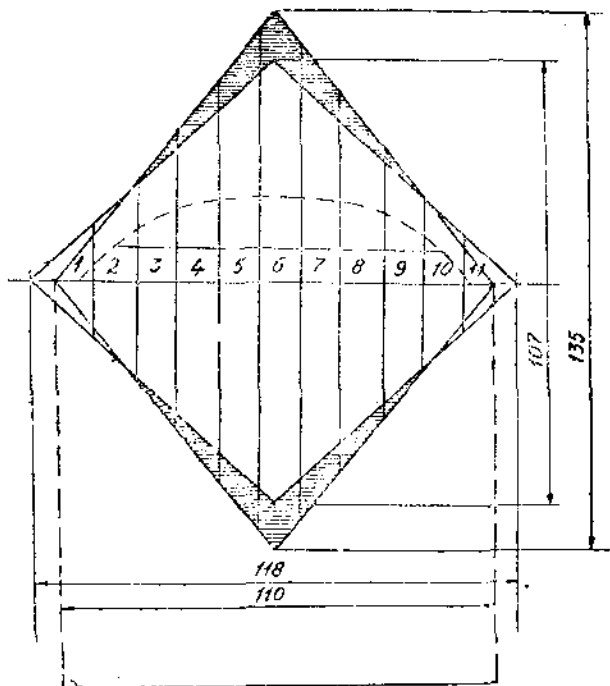
$$\text{В 2 и 10 „ } \mu_{2,10} = \frac{38}{34} = 1,118$$

$$\text{В 3 и 9 „ } \mu_{3,9} = \frac{61}{52} = 1,173$$

$$\text{В 4 и 8 „ } \mu_{4,8} = \frac{86}{70} = 1,229$$

$$\text{В 5 и 7 „ } \mu_{5,7} = \frac{110}{89} = 1,236$$

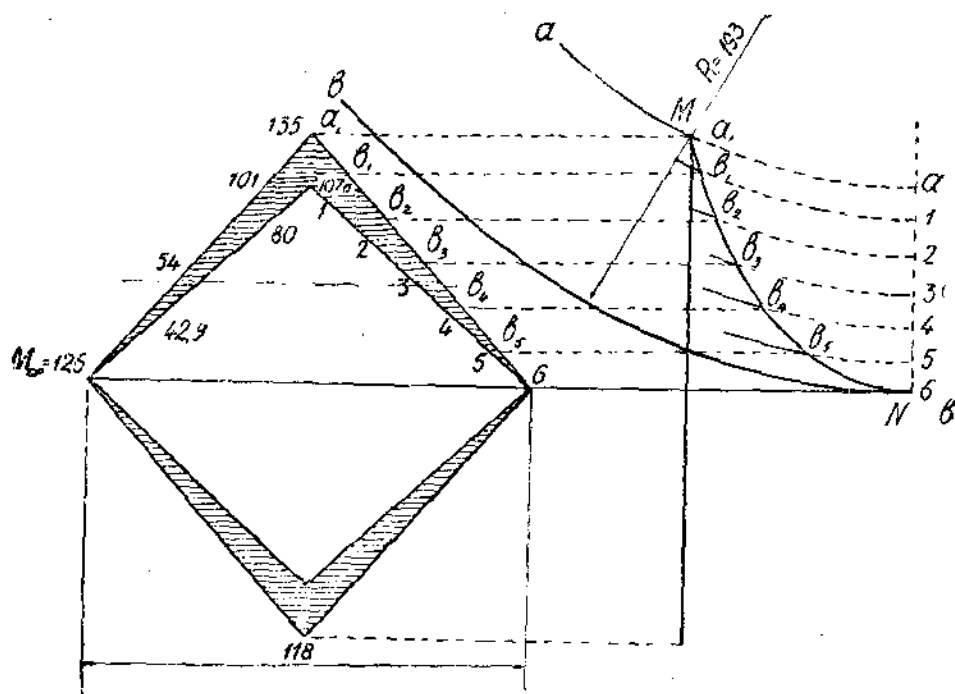
$$\text{В 6 „ } \mu_6 = \frac{135}{107} = 1,261$$



Фиг. 26.

Найденные вытяжки нанесены на диаграмму в виде кривой aaa .

На фиг. 27 представлена прокатка ромбической заготовки в ромбическом ручье, не предусматривающем уширения; ряд ручьев построен по правилу: высота предыдущего калибра равна ширине последующего.



Фиг. 27.

Размеры ромба, поступающего в ручей 135×118 ; $Q_1 = 7960$

Размеры ромбического ручья 118×107 ; $Q_2 = 6320$.

Средняя вытяжка, следовательно, $\mu_{cp} = \frac{7960}{6320} = 1,26 = \frac{135}{107}$. „Натуральные“ вытяжки в каждом вертикальном слое здесь всюду одинаковы и также равны $\mu = 1,26$.

Равенство вытяжек во всех частях не трудно показать из следующего построения (фиг. 28).

Очевидно, имеем $\frac{AA_1}{BB_1} = \frac{CN}{CM}$ и $\frac{DD_1}{EE_1} = \frac{CN}{CM}$.

Отсюда $\frac{AA_1}{BB_1} = \frac{DD_1}{EE_1}$, а, следовательно, $\frac{AA_1}{DD_1} = \frac{BB_1}{EE_1} = \mu$.

Очевидно, в каждом сечении получим тот же результат, всюду μ величина одна и та же, равная $\frac{AA_1}{DD_1} = \frac{135}{107} = 1,26$.

Поэтому диаграмма „натуральных“ вытяжек здесь прямая aa .

В первом случае (фиг. 26) мы видим, что коэффициент натуральных вытяжек растет с краев к середине, но в действительности металл представляет собой одно целое и имеет среднюю некоторую вытяжку $\mu_{cp} = 1,176$ промежуточную между коэффициентом вытяжки крайних и средних полос.

Отсюда ясно, что вытяжка средних и крайних частей должна подчиняться вытяжке 3 и 9 слоев.

Вследствие этого средние слои 4—8 должны испытать постепенно усиливающееся уширение от 4-го к 6-му и от 8-го к 6-му, а наружные слои 1, 2, 10 и 11 должны испытать отрицательное уширение.

В результате последнее в значительной мере может компенсировать положительное уширение средних слоев и общее уширение может быть ниже, чем при подобном же обжатии в плоских ручьях.

Во втором случае (фиг. 27) всюду имеет место нормальное уширение, подобное уширению в плоских ручьях, и суммарное уширение здесь несколько больше, чем в предыдущем случае.

Однако уширение здесь несвободно, так как стесняется боковыми гранями калибра.

На фиг. 27 нанесена в проекции кривая *MN* точек постепенного захвата валками разных вертикальных слоев данного сечения.

Эта диаграмма показывает, что в каждом поперечном сечении ромба сначала сн захватывает в вертикально расположенных вершинах и затем только по мере продвижения полосы вперед постепенно захватываются валками отдельные точки стороны ромба и в последнюю очередь захватываются горизонтально расположенные вершины.

Благодаря этому позади валков в металле образуется волна, бегущая от вертикальных углов к горизонтальным, вызывающая сначала уширение позади валков, а затем утяжку его благодаря тому, что волна постепенно увеличивает вытяжку к краям полосы, питающую вытяжку центральной части.

Рассмотрим прокатку квадратной заготовки в овальном ручье.

Разбив квадрат (фиг. 24), поступающий в овальный ручей, на вертикальные пояса 1, 2, 3, видим, что здесь, наоборот, наибольшей вытяжке подвергаются пояса, лежащие ближе к краю.

На фиг. 29 проведена диаграмма „натуральных“ вытяжек для этого случая.

Из диаграммы вытяжки овала в квадрате (фиг. 30) видно, что при прокатке овала в квадрате средние слои имеют минимум, максимум находится весьма близко к бокам овала.

Затем вытяжка очень круто падает до I. Средняя вытяжка совпадает с „натуральной“ вытяжкой среднего слоя r_3 и r_5 .

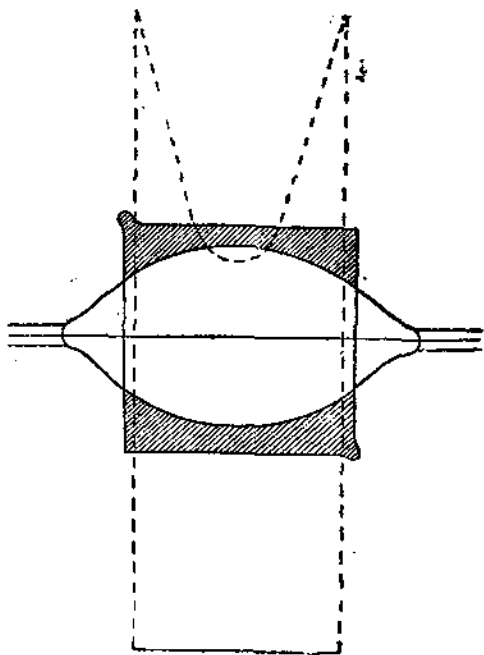
Следовательно, остальные вытяжки подчинены вытяжке центрального слоя и избыток „натуральных“ длин к краям полосы идет на развитие большого вынужденного уширения.

Поэтому прокатка овала в ромбе сопровождается ненормально большим уширением, стремящимся заполнить ромб.

Подобную картину представляет собой прокатка квадрата в овале (фиг. 29).

Уширение квадрата в овале, следовательно, носит сильно вынужденный характер и должно быть значительно.

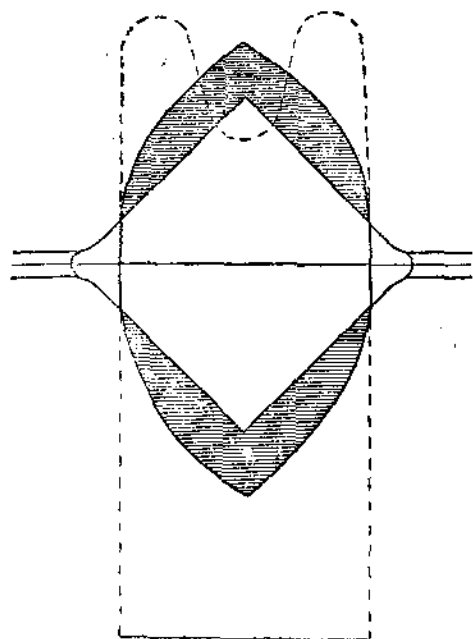
Рассмотрим явление прокатки в ромбических овальных ручьях с точки зрения относительных скоростей металла и ручьев для более полного освещения вопроса.



Фиг. 29.

Ромбическая полоса в ромбическом ручье крепко держится трением в вертикальных углах ручья, так как здесь приложено наибольшее давление.

Этим определяется скорость полосы, выходящей из валков, равная окружной скорости валков в вершине ручья¹.



Фиг. 30.

Боковые грани ручья опережают прокатываемую в нем полосу, способствуя увеличению вытяжки наружных поясов и уменьшению уширения металла в них. Кроме того, имеет место опережение, которое происходит за счет внутренних частиц металла, подвергнутого сжатию. Это опережение, происходящее особенно сильно в центральном поясе, также способствует вытяжке наружных поясов.

Квадратная полоса в овальном ручье крепко держится в наружных поясах и ее скорость определяется окружной скоростью валков в области наружных поясов.

Поэтому центральная часть грани ручья движется с меньшей скоростью, чем металл, и, следовательно, тормозит вытяжку среднего пояса, и без того вытягивающегося менее крайних полос. Это обстоятельство усугубляет увеличение уширения боковых поясов полосы.

Опережение и уширение здесь происходит за счет истекших внутренних

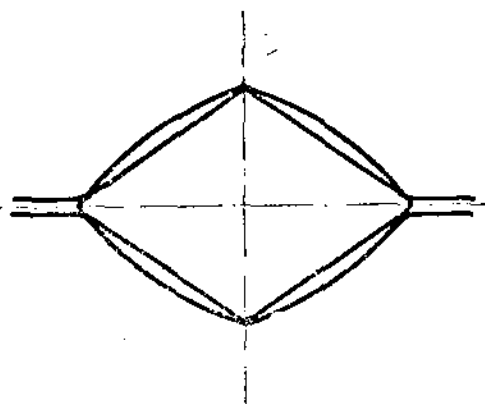
частиц металла, по преимуществу крайних поясов.

Итак, овальный ручей дает значительное уширение, ромбический ручей дает энергичную вытяжку овала.

Так как форма овального ручья, несмотря на сильное уширение в нем, дает возможность применять в них большее вертикальное обжатие и овальная заготовка в ромбическом ручье также подвергается сильному вертикальному давлению, то система овал—ромб или овал-квадрат является наиболее продуктивной, вследствие чего и имеет в настоящее время весьма широкое применение вместо ранее преобладавшей системы одних ромбов или стрельчатых ручьев, не допускающих больших обжатий.

Несколько слов о стрельчатых ручьях (фиг. 31).

Как видно из чертежа, стрельчатые ручьи отличаются от ромбических тем, что при одинаковых соответственно диагоналях площадь стрельчатого ручья значительно больше площади ромбического ручья, а поэтому при одинаковых площадях прокатываемых полос стрельчатые ручьи дают менее глубокий вырез в валках.

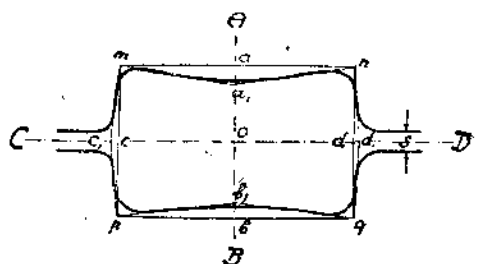


Фиг. 31.

¹ Если не считать опережения.

Отсюда вытекает то обстоятельство, что в обжимных валках вместо крупных ромбических ручьев применяют стрельчатые, как менее ослабляющие прочность валков. Затяжка и уширение здесь аналогичны таковым в ромбических ручьях, при чем уширение несколько более значительно, чем в ромбах. Гораздо лучше обжимают болванку плоские ручьи, которые исключительно и применяются в самых крупных станах, называемых блюмингами.

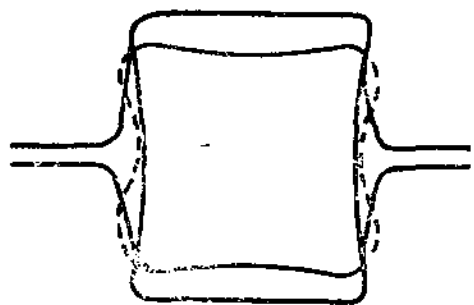
Плоский ручей (фиг. 32) блюминга при той же площади, как и ромбический или стрельчатый ручей, дает вырез в валках значительно менее глубокий, чем последние. В то время как последние врезаются в валы диагоналями, плоские ручьи врезаются высотой прямоугольника.



Фиг. 32.

Для квадрата отношение диагонали к высоте 1,41; таким образом, ромб врезаются в валы приблизительно на 40% глубже, чем прямоугольник в виде квадрата. Поэтому при данном диаметре валков плоские ручьи могут прокатывать болванки значительно больших размеров, чем ромбические или стрельчатые ручьи.

Распределение вытяжки в плоском ручье равномерное, так как вертикальное обжатие во всех частях одинаково. Поэтому уширение здесь нормальное и подчиняется тем же законам, как и в гладких валках, при чем боковые грани ручьев ограничивают уширение для получения полосы нужной ширины.



Фиг. 33.

Следует также отметить, что и здесь до некоторой степени может иметь место вынужденное уширение, если профиль болванки имеет чрезмерно большую высоту h по сравнению с величиной вертикального обжатия $H-h$, т. е. в случае ненормального процесса деформации.

Этот случай может иметь место в блюминге.

В этом случае уширение стремится придать сечению слитка вогнутые боковые грани, вследствие прохождения насквозь всей области деформации стержня сопротивления.

Если при этом боковые грани ручья ограничивают развитие уширения до нормы, как показано на фиг. 33, то уширение приобретает вынужденный характер в направлении к горизонтальной оси сечения слитка. Если бы при этом ручей имел коробчатую форму, изображенную на фиг. 34, то вынужденное уширение могло бы вызвать образование заусенки в a , несмотря даже на неполное заполнение ручья в b .

Более причудливые профили ручьев, например, трапециодальный, фланцевый и т. п., при прокатке в них прямоугольных болванок еще более искажают явление уширения, чем ромбические и овальные ручьи, вызывая или необычайно большое уширение в одной части профиля, или необычайно малое в другой.—уширение приобретает *вынужденный* характер.

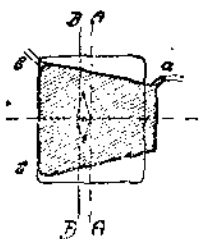
Мы уже познакомились отчасти с явлением вынужденного уширения при разборе процесса прокатки в ромбическом и овальном ручьях. Рассмотрим процесс деформации прямоугольной полосы в трапециодальном ручье.



Фиг. 34.

Если в трапециодальный ручей задается прямоугольная болванка (фиг. 35), разумеется, меньшей ширины, чем ручей на величину нормального уширения, то обычно в a получается заусенка и в b незаполнение, происходящее от имеющего здесь место вынужденного уширения в правой части металла и утяжки в левой части.

Действительно, разделив вертикальной линией AA на две равные части площадь прямоугольника и линией BB на две равновеликие части площадь трапеции калибра, имеем в левой части болванки малое вертикальное давление, а, следовательно, и малую вытяжку, в правой же части болванки — большое вертикальное давление и большую вытяжку. Очевидно, левая половина выходящей из валков полосы будет сдерживать



Фиг. 35.

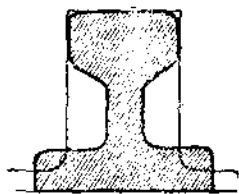
бег правой половины, вследствие чего металл правой половины, не имея достаточного выхода вперед и назад, будет уширяться сверх нормы вправо, заполняя ручей и, если он тесен, — в щель между валками a . В свою очередь, металл правой части, имея стремление к значительной вытяжке, будет увлекать за собой, насколько позволяет вязкость металла и уширение, левую часть полосы, стремясь вытянуть ее сверх нормы, определяемой вертикальным давлением, вследствие чего будет происходить уменьшение нормального уширения левой части полосы, сказывающееся в недостаточном заполнении углов. Проф. В. Е. Грум-Гржимайло указывает следующий способ для вычисления ширины трапециодального ручья: если дана толщина задаваемой в нее болванки, равноделящие линии AA и BB должны совпадать (равноделящие линии AA и BB делят пополам площади соответственно прямоугольника и трапеции). При этом условии отношение площадей левой и правой части металла до прокатки и после прокатки остается постоянным, т. е. вытяжки правой и левой части будут равны и уширение не пойдет дальше правой грани трапециодального ручья.

При прокатке болванка прижмется к левой грани ручья под действием равнодействующей R сил давления на металл сверху и снизу (фиг. 35). При условии слияния равноделящих в расстоянии, равном половине толщины болванки $\frac{b}{2}$ от левой грани ручья, площадь левой половины трапеции a , следовательно, и равновеликой ей правой половины определяется. Отсюда вычисляется расстояние правой грани трапециодального ручья от равноделящей и ручей будет иметь нужный размер.

Другим примером вынужденного уширения является выработка тонкого фланца рельсовой пяты в ребровом ручье при прокатке рельс (фиг. 36).

В подготовительных ручьях рельс катается с толстыми фланцами пяты во избежание преждевременного охлаждения тонких фланцев.

Затем в ребровом ручье фланцы пяты подвергаются обжатю в то время, как остальная часть рельса почти совершенно не обжимается. Вследствие этого фланцы пяты должны были бы получить значительную вытяжку, если бы этому не препятствовала почти невытягивающаяся остальная масса рельса: не имея движения вдоль полосы, металл во фланцах чрезвычайно сильно уширится, образуя тонкие фланцы.



Фиг. 36.

Рассмотрим явление сложного истечения металла из одной части в другую. Болванка толщиной H и шириной B прокатывается между ребрами двух валков так, чтобы получился двутавровый профиль с толщиной шейки h .

Определим высоту фланцев h^1 при данной вытяжке всего профиля (фиг. 37).

Так как обжатию подвергается только центральная часть болванки $add'a'$, то при условии, что все 7 частей профиля болванки (в данном случае 7 частей, если мы разделим сечение болванки вертикальными линиями на 7 частей) вытягиваются независимо друг от друга, мы получим „теоретические“ или, как называют их проф. Тафель, „естественные“ вытяжки; для крайних частей коэффициент вытяжки

$$\mu_k = 1,$$

для средних:

$$\mu_c = \frac{H}{h}.$$

В действительности же этой независимости быть не может и центральная часть будет увлекать за собой боковые флянцы, стремясь сообщить им вытяжку, равную также μ_c .

Однако, это было бы возможно лишь при условии, что высота флянцев также получилась бы равной h , т. е. во флянцах происходила бы утяжка металла или осадка его до такого же размера, как и в средних частях под действием реборд.

Этого в действительности быть не может.

Возможно, однако, что флянцы получают вытяжку, одинаковую с центральными частями, но при этом вытяжка центральных слоев должна уменьшиться против „теоретической“ вытяжки μ_c (здесь μ средних частей, а не средняя).

В этом случае часть металла переходит в флянцы. Количество истекающего в флянцы металла и определяет собой размер *действительной*, общей для шейки флянцев вытяжки.

При этом возможно себе представить, что это истечение будет:

а) настолько велико, что высота флянца остается равной высоте болванки H , т. е. утяжка флянцев равна нулю.

В этом случае действительная вытяжка всего профиля получает минимальное значение μ_{min} .

Но возможно также себе представить, что наряду с истечением металла из шейки в флянцы:

б) происходит также некоторая утяжка флянцев по высоте, питающая частично наряду с шейкой вытяжку флянцев. Если эта утяжка в предельном случае так велика, что:

в) h' делается равным h , то истечение из шейки в флянцы уменьшится до нуля.

В этом случае общая действительная вытяжка достигнет своей максимальной величины $\mu_{max} = \mu_c = \frac{H}{h}$.

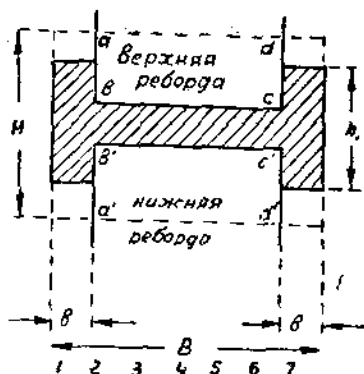
В действительности, наичаще может встретиться, что вытяжка μ , получит некоторое среднее значение.

Минимальная вытяжка определяется, очевидно, из следующего выражения:

$$\mu_{min} = \frac{\sum \mu_k + \sum \mu_c}{n}.$$

Пусть для примера $H=100$; $B=80$; $n=7$.

Получаем $\mu_k=1$; $\mu_c = \frac{100}{80} = 1,25$; $\mu_{max}=1,25$; $\mu_{min} = \frac{2,1 + 5 \cdot 1,25}{7} = 1,18$.



Фиг. 37.

Очевидно, действительная¹ вытяжка $\mu_p > 1,18$ и $\mu_p < 1,25$.

Металл в средних частях сжат, в крайних — растянут, так как увлекается средней частью.

Если бы не было истечения металла из шейки в флянцы, то последние должны были бы разорваться или сократить свое сечение, т. е. утягиваться.

В действительности и истечение и утяжка имеют место в различных пропорциях, обуславливающих данный общий коэффициент вытяжки μ_p .

В рассматриваемом процессе флянцы все время испытывают для своего образования недостаток металла в крайних частях, следовательно, здесь не может быть речи об уширении металла во флянцах или в шейке; весь металл, который должен был бы пойти на уширение шейки, поглощается флянцами для их вытяжки и даже его еще не хватает, что и называется в утяжке флянцев по высоте.

Пусть действительная общая вытяжка равна μ_p . Очевидно, она требует уменьшения высоты флянцев H до некоторой высоты h_x , которую и требуется найти.

Напишем выражение для μ_p :

$$\mu_p = \frac{2 \frac{H}{h_x} + (n-2) \frac{H}{h}}{n}$$

Отсюда находим h_x :

$$h_x = \frac{2H}{n\mu_p - (n-2)\frac{H}{h}} \quad (1)$$

Например, пусть $\mu_p = 1,2$

$$\text{Находим } h_x = \frac{2 \cdot 100}{7 \cdot 1,2 - 5 \cdot 1,25} = 93.$$

Итак, при наблюдаемой или заданной общей вытяжке $\mu_p = 1,2$ в данном случае будет иметь место утяжка флянцев $100 - 93 = 7$ мм.

Выведенное выражение позволяет нам задаваться одной из двух величин h_x или μ_p и определять другую. Но для полного решения вопроса необходимо было бы иметь еще одну зависимость между h_x и μ_p , что бы решить вопрос об истечении металла полностью. Остается неизвестным, какая часть металла идет из шейки в флянцы и сколько металла утягивается, если неизвестна μ_p .

Было бы крайне важно иметь законности, позволяющие определять μ_p или h_x еще независимо друг от друга, чтобы затем по формуле (1) найти и другую искомую величину. Несомненно, мера истечения металла из шейки в флянцы в указанных условиях зависит от весьма многих факторов, а именно: от консистенции металла, т. е. его состава и температуры, коэффициента трения, величины вертикального давления ($H - h$), от ширины давящей реборды, от толщины H , h и b (фиг. 37).

Для выяснения этой зависимости необходимо провести специальные опыты для установления μ_p в зависимости от указанных факторов, в особенности от важнейших H , h и $H - h$, b , b_1 и t° (температуры).

Возвратимся к дальнейшему рассмотрению процесса.

Очевидно, если в ручье высота флянца предусмотрена, т. е. прокатка ведется в ручье, в котором фланец может испытывать вертикальное давление, т. е. высота флянца в ручье h_p выбрана меньше, чем вычислена h_x , то вследствие обжатия $h_x - h_p$ флянцы испытывают дополнительную вытяжку, которая должна или повысить общую вытяжку профиля или вызвать уширение его (вынужденное уширение), часто обуславливающее заусенку.

¹ Она также средняя.

Определим вынужденное уширение фланца для рассматриваемого случая, если $h_x > h_g$.

Уширение в этом случае вычисляется легко из предположения, что дополнительная вытяжка не осуществляется (что обычно и бывает, если масса металла в фланцах меньше, чем в шейке).

Очевидно, площадь $2(h_x - h_g)b = z \cdot h_g$, где z — линейное уширение. Отсюда:

$$z = 2 \frac{b_1(h_x - h_g)}{h_g} \text{ или } 2 \frac{b(h_x - h_g)}{h}.$$

Например, пусть (см. предыдущий пример) $h_g = 90$, $h_x = 93$ и $b = 15$ мм. Получаем:

$$z = 2 \frac{15(93 - 90)}{90} = 1 \text{ мм или } z = 2 \frac{15(93 - 90)}{80} = 1,125.$$

Полезно избегать уширения металла во фланцах, перенося его на уширение шейки. Так, например, в данном случае ширина шейки определится так: пусть $b = 70$; $h = 80$; имеем $h \cdot z = 2(h_x - h_g)b$, или $80 \cdot z = 2 \cdot 3 \cdot 15$; $z = 1,125$ мм. Вынужденное уширение может быть положительным и отрицательным.

Явление утяжки есть явление отрицательного уширения при прокатке фасонных профилей. С этим явлением борются посредством применения бокового давления.

Прямое давление в чистом виде осуществляется в гладких валках. В ручьевых валках уже проявляется, кроме того, боковое давление. Так, в плоских ручьях металл, уширяясь до боковых граней, испытывает здесь боковое давление, способствующее полному заполнению профиля ручья.

То же самое имеет место в круглых, квадратных, овальных и стрелчатых ручьях.

Во всех этих случаях боковое давление имеет очень малую величину по сравнению с прямым вертикальным давлением.

Почти столь же слабо выражено боковое давление в ручьях углового железа, зетового железа и развернутых ручьях швеллерного железа.

При прокатке всех этих профилей очень легко в небольшое число пропусков осуществить требуемую деформацию болванки, так как в перечисленных ручьях работа деформации производится только на уменьшение высоты и давление распределяется почти равномерно на все сечения и, следовательно, не должны иметь места неравномерные напряжения, в других условиях иногда способные повлечь за собою разрыв металла.

При более сложных профилях, как, например, швеллера, балки, рельсы, надо обращать самое тщательное внимание на то, чтобы отдельные части полосы не подвергались неодинаковому обжатию или вытяжке, что в глубоко врезанных частях ручья легко может получиться.

В этом случае металл испытывает значительные боковые передвижения для заполнения всех частей калибра.

Появляется боковое давление, которое в случае неправильного учета его вызывает образование излишних напряжений, коробление и даже трещины, в особенности при низкой температуре прокатки.

Для улучшения уяснения процесса деформации металла в фасонных профилях воспользуемся прекрасным анализом этого процесса в двутавровой балке, сделанным проф. В. Е. Грум-Гржимайло (фиг. 38).

Шейка или полка балки прокатывается между двумя цилиндрическими поверхностями с радиусом R , имеющими скорость $2\pi Rn$.

Край фланца, вырезанного в нижнем валке, катается поверхностью меньшего радиуса, а именно $(R - x)$, имеющей скорость $2\pi(R - x)n$.

Наконец, край фланца, находящегося в открытой части ручья, т. е. между верхним и нижним валками, с одной стороны, обрабатывается

валку, движется со скоростью $99-86=13\%$ назад, или обе поверхности сдвигаются в противоположные стороны со скоростью относительно друг друга 28% , раздавливая и утоньшая флянец.

Нужно заметить, что поверхность калибра, принадлежащая здесь нижнему валку, почти плоская, поверхность же верхнего валка в этой части калибра—коническая.

Прокатываемый флянец поступает в разверстную часть этого суживающегося клина.

Пока клин достаточно широк, флянец идет свободно, но клин делается все уже и уже, тогда быстрая движущаяся поверхность гребня нижнего валка подхватывает флянец балки и, скользя по нем, прожимает его через узкую часть клина. Утоньшенный флянец, минуя наиболее узкое сечение, входит в симметрично уширяющуюся часть калибра и поворачивает его. Итак работа открытой части калибра заключается в прожимании толстого флянца через клиновидную щель, одна сторона коей—быстро движущийся гребень нижнего валка, другая—конусная поверхность калибра, принадлежащая верхнему валку.

Этим свойством работы открытой части калибра калибровщики пользуются для утоньшения флянцев.

В открытую часть калибра задают обыкновенно флянец, достаточно толстый для того, чтобы путем „бокового давления“ дать ему вместе с тем надлежащее уширение для получения нужной высоты флянца.

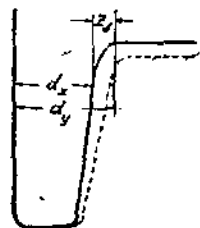
Прокатанный и уширенный в открытой части ручья флянец затем прокатывается в закрытой части следующего ручья, где он утягивается как было выяснено выше.

Кирхберг на основании изучения хорошо работающих калибровок, установил параболическую зависимость в боковых давлениях при переходе от ручья к ручью, что должно отвечать постепенному уменьшению пластичности металла при переходе от ручья к ручью вследствие понижения температуры.

Если вообразим себе для определения бокового давления две следующие друг за другом части калибра, наложенными соответственно друг на друга (фиг. 39), то всякому размеру d_x данной части калибра A отвечает размер d_y соответствующей части уледующего калибра и отношение их дает следующее равенство:

$$d_y = d_x + \left(1 + \frac{d_x^2}{200} \right)$$

$$d_y = d_x + \frac{d_x^2}{200}.$$



Фиг. 39.

Коэффициент увеличения ручья k_d или вытяжки, очевидно, будет:

$$\frac{d_y}{d_x} = 1 + \frac{d_x^2}{200}.$$

Линейное приращение размера калибра, очевидно,

$$z_d = \frac{d_x^2}{200}.$$

Последнее уравнение отвечает параболу.

Боковое давление может производить положительное и отрицательное уширение металла. Положительное уширение получается только тогда, когда давление производит нагнетание металла в направлении прокатки, т. е. производит некоторое опережение. Это возможно только при обработке металла поверхностями двух различных валков, как например,

в открытой части калибра двутавровой балки. Если же боковое давление производит лишь торможение металла, то имеет место усиленная утяжка или осадка, как мы это видели в закрытой части калибра двутавровой балки.

Поэтому истечение металла происходит совершенно различным образом в двух тождественных калибрах, но с различным положением разрезки валков (фиг. 40 и 41).

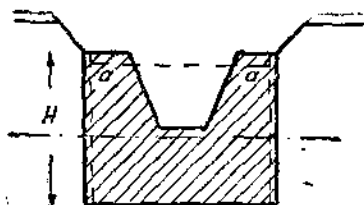
В первом случае должна происходить утяжка металла и для заполнения профиля необходимо задавать металл толще H .

Во втором случае, наоборот, в a должно происходить вертикальное уширение и, следовательно, во избежание образования заусенки необходимо задавать металл несколько тоньше H .

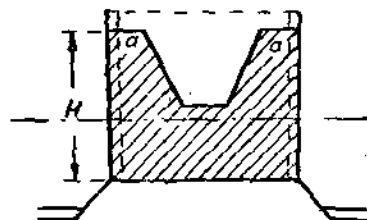
В обоих случаях получается вынужденное горизонтальное уширение. В первом случае получается большее напряжение в металле, чем во втором.

Обычно применяется второй способ¹, при чем боковым граням ручья сообщается некоторый уклон (выпуск), так что нижняя часть калибра становится уже верхней.

Целесообразно для уменьшения угла захвата и напряжения металла разрезающий ручей для двутавровых балок и швеллеров, особенно



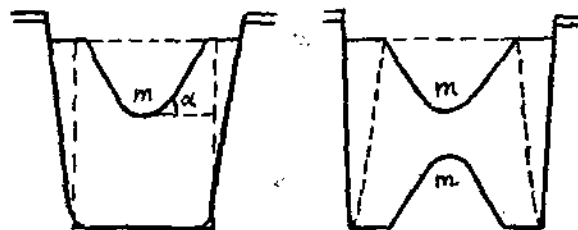
Фиг. 40.



Фиг. 41.

крупного размера, разбивать на два калибра последнего типа (фиг. 42). Полоса может получить значительное вынужденное уширение, благодаря раздвигающему действию гребней m . Полоса получает здесь незначительную вытяжку и ручей играет роль преимущественно формоизменения прямоугольной полосы в первый фасонный профиль.

В более часто применяемых двухсторонних разрезающих ручьях всегда получается значительная вытяжка и сильное напряжение металла, поглощающее значительную мощность.



Фиг. 42.

Ручей одновременно выполняет две функции: вытяжную и формующую, что допустимо при высокой температуре и небольшом размере профиля и чего следует избегать при крупных профилях и в особенности при низких температурах металла.

Напряжение в металле, вызываемое стремлением к истечению частиц из одной части профиля в другую, вызывают также и повышение напряжения в машине, так как кроме повышенного давления металла на валки, при этом происходит значительное трение металла о поверхность валков, которое машина должна преодолевать.

¹ Первый случай применяется в чистовых калибрах швеллерного железа.

ЧАСТЬ II

КАЛИБРОВКА НЕФАСОННЫХ ПРОФИЛЕЙ

Профиль углубления, вырезанного в цилиндрической поверхности валька, будем называть ручьем, а профиль двух ручьев, составленный ручьями двух вальков — калибром.¹

Типы ручьев и калибров

При прокатке железа употребляются следующие типы ручьев и калибров:

1. Обжимные или вытяжные ручьи и калибры.
2. Черновые или подготовительные ручьи и калибры.
3. Чистовые или отделочные ручьи и калибры.

Обжимные калибры разделяются по их форме на:

- Плоские (1)
- Стрельчатые (2)
- Ромбические (3)
- Овальные (4)
- Квадратные (5)

Черновые или подготовительные ручьи имеют целью подготовить постепенно требуемый профиль, и образуемые ими калибры для простейших профилей — круглого, квадратного и полосового — бывают: плоские, многогранные, овальные, ромбические, квадратные и стрельчатые; для фасонных профилей — фасонные, постепенно приближающиеся к форме требуемого профиля, и ребровые калибры, облегчающие получение требуемых размеров.

Обжимные калибры предшествуют прокатке всякого профиля.

ГЛАВА I

КАЛИБРЫ ОБЖИМНЫХ СТАНОВ

Ранее было выяснено нами, что каждому размеру прокатываемого железа отвечает определенный размер вальков и исходной болванки. Поэтому размеры слитков, поступающих в прокатный цех, очень разнообразны. Если не говорить о броневых слитках, то размеры их обычно заключаются в пределах от 700 до 100 мм толщиной. Отливка более мелких слитков является технически неудобной и экономически невыгодной, так как всякий слиток дает при ограниченности своей длины некоторое количество негодного металла по концам, теряемого в виде обрезков, процент которых тем больше, чем короче и тоньше болванка. Кроме того, чем толще слиток, тем лучше он прорабатывается во время прокатки.

¹ В литературе часто не приводится это различие между ручьем и калибром: в то время, как никто не назовет ручья, т. е. выреза в одном вальке, калибром, очень часто калибр, т. е. совокупность двух ручьев, называют ручьем. Лучше различать эти понятия, так как при одних и тех же ручьях размер калибра изменяется вследствие разной установки вальков.

Было бы всего рациональнее с точки зрения качества металла производить только крупные слитки, чтобы путем обжатия в блюминге прокатывать заготовку всяких размеров по требованию сортовых или специальных станов. В настоящее время и по экономическим соображениям многие заводы стремятся осуществить эту идею, обжимая в блюминге крупные слитки до размеров 250×250 — 100×100 мм. В таком случае блюминг является родоначальником всякого прокатного металла данного завода.

На некоторых заводах в блюминге для обжима слитков применялись гладкие валы. Поворачивая после каждого пропуска болванку на 90° , можно таким образом получить заготовки каких угодно размеров. Несмотря на видимое преимущество применения для обжима слитков гладких валков, оно не прижилось, вследствие многочисленных осложнений в процессе прокатки в гладких валках. Так, например, часто после обжима вместо прямоугольного сечения получается ромбическое течение болванки, которое при дальнейшей прокатке в гладких валках не может быть исправлено в прямоугольное или квадратное по попятной причине. Кроме того, как указывает проф. В. Е. Грум-Гржимайло, при сильных обжатиях возможно свертывание слитка, т. е. искривление его ребер по винтовой линии, что делает такую болванку непригодной для дальнейшей прокатки. Свертывание обнаруживается в случае неравномерного нагрева слитка. Если одна грань слитка и имеет более высокую температуру, чем противоположная, то более горячая часть слитка имеет более значительную вытяжку, чем более холодная часть. В таком случае более длинные ребра выходящей из валков полосы обвивают более холодную часть слитка, в чем и выражается свертывание.

Однако в последнее время в Америке и затем в Европе получили распространение валки блюминга с гладкой частью посредине, назначенной для первых пропусков. Но зато эти блюминги снабжены мощными направляющими линейками, позволяющими применять большие обжатия без опасения свертывания полосы.

Кроме такой гладкой части американские валки блюминга снабжаются несколькими ручьями, в которых заканчивается прокатка слитка.

Свертывание предотвращается также, если прокатка ведется не в гладких, а в ручьевых валках, если последние сконструированы таким образом, чтобы металл крепко удерживался углами ручья во время прокатки. Последнее условие осуществляется, если слиток плотно входит в калибр.

Этому условию хорошо удовлетворяют стрелчатые и ромбические калибры, которые и имеют широкое применение в обжимных станах, кроме блюминга. Выше было выяснено, что в блюминге стрелчатые и ромбические ручьи не применяются, так как, глубоко врезаясь в тело валков, они ослабляют прочность последних. Кроме того, этого рода ручьи неприменимы для раздвижных валков и, следовательно, не дают возможности экономно использовать валки для выпуска и прокатки разнообразных болванок.

Поэтому в валках блюминга применяются исключительно плоские ручьи.

Плоский ручей не должен иметь прямоугольной формы, так как в прямоугольный ручей весьма затруднительно задавать слиток без проводок, и, кроме того, в таком ручье полоса часто так защемляется, что „оковывает“ валок, т. е. загибается вокруг валка.

Во избежание этого боковые грани ручья должны быть несколько наклонны (2° — 5°), а дно ручья должно иметь размер толщины задаваемой в него болванки.

Такой ручей крепко держит углами болванку, легко ее принимает и выпускает, так как при входе и выходе металла ручей шире дна его. Дно ручья делается несколько выпуклым; прокатанная в таком ручье болванка устойчива на рольганге, что не может иметь места в случае выпуклых вследствие уширения граней.

Обычно выпуклость образуется перпендикулярами к боковым граням (фиг. 43). Благодаря наклонности боковых граней возможно переточить ручей, если он изотрется, без увеличения его размеров, при чем уменьшается только диаметр валька, между тем как переточка прямоугольного профиля неизбежно сопровождается увеличением размеров ручья в ширину.

Построение ручья производится следующим образом: ширина ручья принимается равной ширине болванки; уклон боковых граней выбирается от 2° до 5° , т. е. от 0,03 до 0,09 в зависимости от общего обжатия в данном ручье, а следовательно, и от абсолютной величины всего уширения металла в этом ручье.

Следует заметить, что в блюминге один ручей служит для нескольких пропусков в нем болванки, для чего сначала вальки раздвигаются на 100—300 мм¹ от их нормального положения и затем после каждого пропуска сближаются на величину обжатия, пока не примут снова своего нормального положения. Таким образом, толщина болванки в вертикальном направлении постепенно уменьшается в одной и той же паре ручьев, но зато соответственно и уширяется.

Так как болванки очень толсты, то уширение здесь очень мало. По Кирхбергу уширение может быть определено по формуле

$$b_x = b + 0,05 f,$$

где f есть коэффициент приращения длины в процентах в данном ручье.

Но эта формула в блюминге дает очень малый выпуск, поэтому рациональнее определять b_x , придавая боковым граням уклон 2° — 5° в зависимости от общего обжатия.

Нанеся взаимно перпендикулярные оси AB и CD (фиг. 43), откладываем от точки O вверх и вниз отрезки Oa и Ob , равные двойной глубине ручья. Через точки a и b проводим линии, параллельные CD . Отложив от точки O вправо и влево отрезки Od и Oc , равные половине ширины дна ручья, проводим через точки c и d линии, параллельные AB , получаем расчетный прямоугольный калибр.

Найдя из вышеприведенной формулы или иначе ba , наносим эту длину по оси CD , отметив точки c_1 и d_1 . Соединяя точки c_1 , d_1 с точками m , p , n и q , получаем искомый уклон граней ручья: mc_1 , nd_1 и pc_1 и qd_1 .

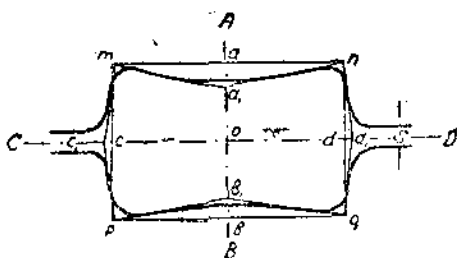
Между вальками делаем зазор S размером от 5 до 10 мм в зависимости от диаметра вальков. В выборе S предоставляется широкий произвол.

Из точки m , n , p и q для образования дна ручьев восстанавливаем перпендикуляры к полученным боковым граням. Получаем очертание действительного калибра ma , nd , qb , pc , m , если в углах многоугольника сделаем необходимые закругления.

Радиус закругления в глубине ручья обычно берется 10% от ширины ручья: $r = 0,6 b$. Радиус закругления у зазора обычно делается 10% от глубины ручья: $r_a = 0,05 h$. Угол при a_1 и b_1 закругляется произвольным радиусом.

Наведенный толстыми линиями на фиг. 43 профиль является окончательным.

Ширина гребней здесь обычно делается 0,25 h ; что касается допускаемой глубины вреза в тело вальков, то хотя Дален и дает, как крайний предел, $1/4$ диаметра, однако теперь ручьи никогда не врезаются глубже,



Фиг. 43.

¹ При прокатке сляб, т. е. обжатой плоской болванки для толстых листов, подъем верхнего валька достигает 1000 мм.

² Можно пользоваться для определения уширения формулой Жеза: $Z = k(H - h)$, применяя коэффициент k , определяемый из предлагаемой нами диаграммы (фиг. 18).

чем на $\frac{1}{6}$ диаметра вала, в виду того, что в настоящее время работают значительно более сильными обжатиями, для чего требуется большая прочность вала. Из тех же соображений целесообразно величину вреза в обоих валах для данного калибра делать одинаковой, хотя еще встречаются при калибровке блюминга пережитки старины, когда прокатка пакетов сварочного железа требовала более глубокого выреза в нижнем валу, чем в верхнем.

Краткая характеристика реверсивных обжимных станов

Для прокатки заготовки, а также крупносортового железа, как, например, рельс, балок, швеллеров, крупного круглого и квадратного железа, лучше всего применять станы дуореверсивные в особенности, если вес болванки или заготовки превосходит 2 т. Другим решением вопроса являются станы трио с подъемными столами. Реверсивный дуо избавляет от необходимости установки этих подъемных столов.

Дуореверсивные крупносортовые станы делают в одну, две и три клетки в зависимости от размера и разнообразия катаемых профилей. Не возбуждает никакого сомнения преимущество применения дуореверсивных станов с одной клетью, но две и три клетки требуют обсуждения с точки зрения при реверсивных станах, невозможности одновременной работы двух и трех клеток.

Станы трио работают с маховиком, в этом их основное преимущество, но, с другой стороны, отсутствие маховика в реверсивных станах делает их работу весьма легко управляемой и регулируемой. Мотор постоянного тока при последних, питаемый установкой Ильгнера или другой группой, дает возможность быстрого и легкого регулирования числа оборотов не только от пропуска к пропуску, но и во время одного пропуска; далее он дает возможность быстрой остановки стана при неправильной задаче или при какой-либо неполадке; наконец, дает возможность работать с большими обжатиями, так как позволяет задавать весьма малые скорости в момент захвата и значительно увеличивать их во время установившегося процесса в данном пропуске. Это обстоятельство невозможно в станах с маховиком, так как последний не допускает регулировки скорости во время пропуска, а при большой скорости толчки в момент пуска могут повлечь за собой поломку муфт или стержней и вообще опасны для стана. Вследствие указанных преимуществ производительность реверсивных станов дуо может быть доведена до весьма высокой цифры, что в результате с избытком компенсирует одновременную работу двух клеток станом трио.

Многоклетьевые реверсивные станы дуо для крупносортового железа могут с экономическим успехом также обслуживать сортовые станы заготовкой.

Удобнее и экономичнее всего обслуживание реверсивных станом электромоторами, так как:

1) по сравнению с паровыми машинами установочная мощность мотора при стане может быть, по крайней мере, в 1,5 раза меньше установочной мощности паровой машины, благодаря способности к большим перегрузкам;

2) электромоторы дают возможность весьма значительного и весьма быстрого регулирования скорости;

3) расход энергии в электрических станах значительно ниже (около 45%), чем у паровых, так как в первых около $\frac{2}{3}$ энергии, идущей на ускорение мотора и стана, возвращаются при торможении, предшествующем перемене хода, в то время, как при паровой машине при этом расходуется рабочий пар.

До 1920 года было установлено свыше 130 электрических реверсивных установок в Европе и свыше 80 в Америке, где имеется еще значительное число станом трио. Все новые установки имеют электрические двигатели.

Зубчатая передача применяется лишь, когда крутящий момент на валу мотора превышает 300—350 т.м. причем отношение зубцов не должно превосходить $\frac{1}{2}-\frac{1}{4}$.

Число оборотов мотора при полном крутящем моменте реверсивного стана обычно колеблется.

n_1 от 0 ± 40 до 50 об/мин. для блюмингов

n_2 „ 0 ± 60 до 70 „ „ многоклетевых станов.

Число оборотов при уменьшенном крутящем моменте для последних пропусков достигает:

$n_1^1 = 150 - 135$ об/мин. для блюмингов

$n_2^1 = 150 - 200$ „ „ многоклетевых станов.

В Америке $\frac{n_2^1}{n_2}$ и $\frac{n_1^1}{n_1}$ не $> 2 - 2,5$, в Европе часто достигает 3.

О скоростях на окружности в реверсивных станах

Скорость при захвате изменяется от 1 до 1,5 м/сек. Затем она может возрасти до 4—6 м в блюминге и 6—7 в чистовых станах.

При выходе из валков полосы скорость ее вновь замедляется, во-первых для использования торможения, во-вторых, для предотвращения далекого выброса полосы. Эта скорость зависит от беса полосы и может быть в пределах 1,5—3 м для обжимных станов.

При захвате болванки можно принять масштаб увеличения числа оборотов в течение 1 секунды от 0 (нуля) до 20—30 об/мин. и более энергичное замедление в конце пропуска — от 40—60 оборотов до 0.

Вообще на ускорение можно принимать период от 0,5'' до 3'' в зависимости от величины максимальной скорости. На замедление можно брать период от 0 до 1,5'' также в зависимости от максимальной и конечной скоростей. Остальное время пропуска протекает при избранной для него максимальной скорости. Продолжительность максимальной постоянной скорости не меньше 1.

Нормальное число оборотов валков блюминга колеблется в пределах от 0 до 60 в минуту при полном крутящем моменте мотора. Иногда число оборотов достигает 120 и даже 150 в минуту, но последнее обычно имеет место только при пониженном крутящем моменте двигателя и при этом при прокатке мелкой заготовки (близкой к 100×100). Практически число оборотов редко превышает 80—90 в минуту.

Блюминг завода им. Петровского в Днепропетровске работает при 60—120 оборотах в минуту, имея при диаметре 920 мм скорость от 2,8 до 5,6 м/сек.

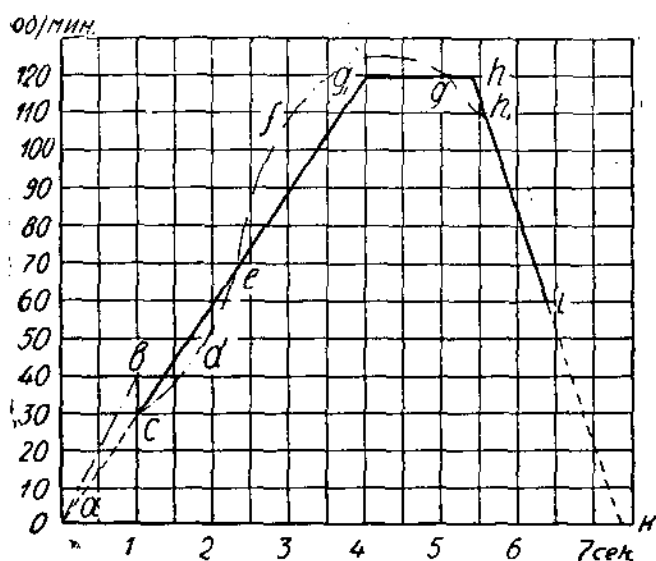
По хронометражным данным работы этого стана продолжительность пауз без кантования при нормальной работе в среднем равна 3'—4'', с кантованием же — 9,5''.

При хорошей механизации стана можно принимать соответственно 2,5' и 7,5''. При осторожных расчетах можно принимать соответственно 4'' и 9''.

Диаграмма угловых ускорений во время пропуска может быть представлена (фиг. 44): пунктир — черта — точка. Ординаты — угловая скорость, абсциссы — время. В течение первой секунды после пуска машины угловая скорость достигает 40 об/мин. (точка *b*). Приблизительно в этот момент задается в валки слиток или уже достаточно раскатанный блюмс. Вследствие тормозящего действия блюмса угловая скорость почти мгновенно падает приблизительно до 30 об/мин (точка *c*). Затем угловая скорость в зависимости от длины прокатываемого блюмса прогрессивно растет приблизительно по линии *cdef*, достигая той максимальной угловой ско-

рости, которую позволяет достигнуть продолжительное нахождение более или менее длинного блюмса в валках. Очевидно, чем длиннее блюмс, тем больше будет эта максимальная угловая скорость при пропуске. По достижении максимальной угловой скорости она должна быть быстро понижена ранее, чем кончится пропуск данного блюмса, по крайней мере до 60 об/мин, что соответствует линейной скорости выбрасываемого из валков блюмса около 3 м/сек.

Это уменьшение скорости выбрасываемого блюмса необходимо, как было отмечено выше, для предотвращения далекого выброса полосы из валков. На диаграмме это изменение угловой скорости представлено линией fg_1h_1i .



Фиг. 44.

После этого валки вхолостую уменьшают свою скорость до 0 приблизительно в течение одной секунды (линия ik).

С достаточной точностью для практических целей описанную диаграмму ускорений можно заменить более простой и более удобной для вычислений, а именно — диаграммой, нанесенной на той же фиг. 44 сплошными линиями и линейным пунктиром $acghik$.

В этом виде диаграмма дает нам возможность установить зависимость между длиной прокатанной в данном пропуске полосы, максимальной

угловой скоростью n_2 в данном пропуске, продолжительностью пропуска и катающим диаметром валков. Сделаем вывод этой зависимости.

Прежде всего отметим, что согласно принятой диаграммы ускорений мы можем различить три периода во время пропуска: 1-ый период — нарастания угловой скорости от $n_0 \approx 30$ об/мин до некоторого максимума n_2 , зависящего от длины полосы l после данного пропуска, 2-ой период постоянной максимальной угловой скорости n_2 и 3-ий период — замедления угловой скорости от n_2 до $n_1 \approx 60$ об/мин.

Найдем зависимость между длиной блюмса после данного пропуска (l_x) и максимальной угловой скоростью во втором периоде (n_2) данного пропуска.

Пусть v_x м/сек. — средняя окружная скорость за весь пропуск и τ_x — продолжительность пропуска в секундах. Тогда имеем:

$$l_x = v_x \cdot \tau_x \text{ метров.} \quad (1)$$

Здесь l_x нам известно из калибровки валков и размеров слитка. Если бы n_2 нам было известно, то из диаграммы 44 легко было бы определить продолжительность каждого периода τ . Очевидно

$$\tau_1 = \frac{n_2}{30} - 1 \quad (2)$$

и

$$\tau_2 = \frac{n_2}{60} - 1 \quad (3)$$

Средняя угловая скорость в первом (n_1) и третьем (n_3) периодах, очевидно, равна:

$$n_1 = \frac{n_0 + n_2}{2} = \frac{30 + n_2}{2} \quad (4)$$

$$n_3 = \frac{n_2 + n}{2} = \frac{60 + n_2}{2}. \quad (5)$$

Отсюда средняя окружная скорость первого и третьего периода равна:

$$V_1 = \frac{\pi D n_1}{60} \quad (6)$$

$$V_3 = \frac{\pi D n_3}{60}. \quad (7)$$

Длина полосы, прокатанной за первый и третий периоды, очевидно, равна:

$$l_1 + l_3 = \tau_1 V_1 + \tau_3 V_3$$

Отсюда на долю прокатки во втором периоде остается длина

$$\frac{l_2}{l_2} = l_2 - (l_1 + l_3) = l_2 - (\tau_1 V_1 + \tau_3 V_3)$$

или

$$l_2 = l_2 - \frac{\pi D}{60} (\tau_1 n_1 + \tau_3 n_3).$$

Теперь можно определить продолжительность второго периода

$$\frac{\tau_2}{\tau_2} = \frac{l_2}{v_2}, \text{ где } V_2 = \frac{\pi D n_2}{60}.$$

Подставляя l_2 и V_2 , имеем

$$\tau_2 = \frac{l_2 - \frac{\pi D}{60} (\tau_1 n_1 + \tau_3 n_3)}{\frac{\pi D n_2}{60}} = \frac{60 l_2}{\pi D n_2} - \frac{\tau_1 n_1 + \tau_3 n_3}{n_2}.$$

Теперь можно найти общую продолжительность пропуска

$$\frac{\tau_2}{\tau_2} = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 \quad (8)$$

или

$$\tau_2 = \tau_1 + \tau_3 - \frac{\tau_1 n_1 + \tau_3 n_3}{n_2} + \frac{60 l_2}{\pi D n_2}. \quad (9)$$

Из выражения (9), а также (2), (3), (4), (5) видно, что τ_2 есть функция n_2 .

Для простоты можно представить приближенно эту зависимость следующим образом:

$$\tau_2 = k_1 \left(\frac{n_2}{30} + \frac{n_2}{60} + k_2 n_2 \right) = k_3 n_2, \quad (9')$$

где k_1 , k_2 и k_3 некоторый коэффициент.

Точно также можно приближенно представить среднюю скорость V_x в функции n_2

$$V_x = k_4 \frac{\pi D n_2}{60} \quad (9')$$

где k_4 — некоторый поправочный коэффициент.

Подставляя значения τ_x и V_x из (9') и (9'') в выражение (1), имеем

$$l_x = k_3 n_2 + k_4 \frac{\pi D n_2}{60} = k_5 n_2 D, \quad (10)$$

где k_5 — некоторый коэффициент.

Из выражения (10) находим:

$$n_2 = \sqrt{\frac{l_x}{k_5 D}} \quad \text{или} \quad n_2 = \sqrt{x l_x}, \quad (11)$$

где x некоторый коэффициент $= \frac{1}{k_5 D}$

Для определения коэффициента x примем, что наибольшая длина блюмса равна 25 м и что при такой длине достигается во втором периоде наибольшая угловая скорость машины, равная $n_2 = 120$ об/мин.

Тогда напишем $120 = \sqrt{x \cdot 25}$

Отсюда

$$x = \frac{120^2}{25} = \frac{5}{8}.$$

Подставляя этот коэффициент в выражение (11), находим искомую зависимость между n_2 и l_x

$$n_2 = \sqrt{\frac{5}{8} l_x} \quad (12)$$

Эта зависимость пригодна для условия, что максимальная угловая скорость двигателя равна 120 об/мин и что максимальная длина блюмса при этом равна 25 м. Таковы именно условия работы новейших американских блюмингов.

Из выражения (12) следует, что, подставляя вместо l_x длины каждого пропуска, мы получим, что чем длиннее l_x , тем больше n_2 .

Чтобы проверить, в какой мере вычисленные по формуле (12) n_2 приближаются к действительным, сопоставим запроектированные в первом советском блюминге n_2 с вычисленными по формуле (12).

№ проп.	По проекту		По формуле (12)
	l_x	n_2	n_2
1	2,18	40	35
2	2,58	40	39
3	3,05	40	42
4	3,60	40	48
5	4,27	50	50
6	5,00	50	54
7	5,95	60	59
8	7,00	60	64
9	8,35	не изв.	70
10	9,55	70	76
11	11,7	80	82
12	13,7	80	89
13	16,3	90	97
14	19,3	90	106
15	22,2	90	113

Сопоставление дает вполне удовлетворительные результаты. Итак, пользуясь формулой (12), можно достаточно точно определить n_2 в зависимости от l_x .

Имея значения n_2 , можно при помощи формулы (9) определить достаточно точно общую продолжительность каждого пропуска τ_x .

$$\tau_x = \tau_1 - \tau_3 - \frac{\tau_1 n_1 + \tau_3 n_3}{n_2} + \frac{60 l_x}{\pi D n_2}.$$

Приведем эту формулу к более удобному для вычисления виду.

Пусть

$$\tau_1 + \tau_3 - \frac{\tau_1 n_1 + \tau_3 n_3}{n_2} = M... \quad (13)$$

$$\text{и } \frac{60 l_x}{\pi D n_2} = N... \quad (14)$$

Тогда имеем

$$\tau_x = M + N \frac{1}{D} \quad (15)$$

(D выражено в метрах).

Здесь M и N не зависят от D и могут быть определены для разных l_x из формул (13) и (14). Результаты вычислений для длин, равных 2, 5, 10, 15, 20 и 25 м, представлены в таблице 7.

Вычисления произведены в следующем порядке:

- 1) $n_2 = \sqrt{578 l_x}$ 2) $\tau_1 = \frac{n_2}{30} - 1$ 3) $\tau_3 = \frac{n_2}{60} - 1$ 4) $n_1 = \frac{30 + n_2}{2}$
 5) $n_3 = \frac{60 + n_2}{2}$ 6) M по формуле (13) и 7) N — по формуле (14).

Таблица 7

l_x	n_2	τ_1	τ_3	n_1	n_3	M	N
2	34	0,13	—	32	—	0,003	1,123
5	53,9	0,80	—	42	—	0,117	1,761
10	76	1,53	0,27	53	68	0,496	2,512
15	93,1	2,10	0,55	61,6	76,6	0,810	3,075
20	107	2,58	0,79	68,8	83,8	1,15	3,552
25	120	3,0	1,0	75,0	90,0	1,375	3,980

Нанеся значения M и N на диаграмму (фиг. 45), в которой по оси абсцисс откладываем l_x в метрах, а по оси ординат M и N в секундах, легко при помощи формулы (15) сразу определить продолжительность каждого пропуска, исходя из данных длин l_x и катающего диаметра валков блюминга в данном пропуске.

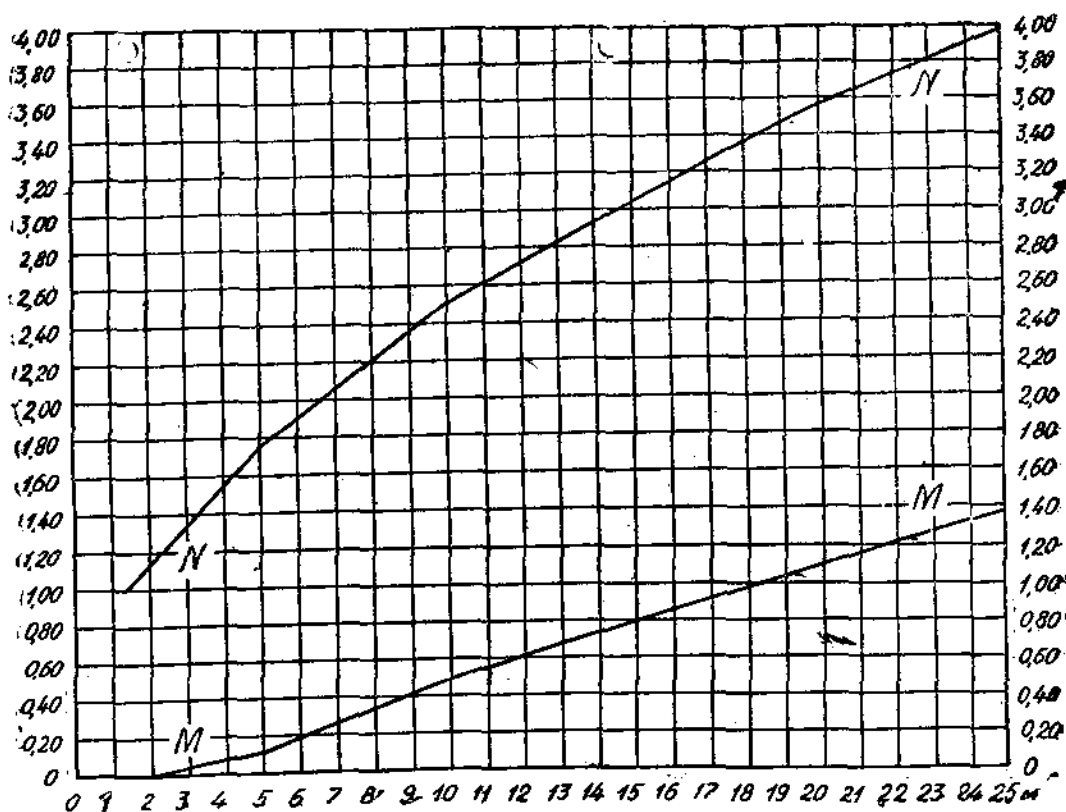
Благодаря вычислению продолжительности каждого пропуска, задаваясь продолжительностью пауз между пропусками, имея калибровку блюминга, можно достаточно точно определить часовую производительность блюминга.

Таким образом увязывается калибровка с производительностью блюминга.

Несколько слов о нормальном числе часов работы блюминга в году.

Блюминг американской или современной европейской конструкции, как показал опыт, может работать без ремонта несколько лет. Остановки блюминга производятся только для смены валков, вкладышей и осмотра исправности трущихся частей. В общей сложности на остановки блюминга можно принять не более 12,5% т. е. в среднем нормально работает блюминг 21 час в сутки. Считая в году 360 рабочих дней (5 дней революционных праздников блюминг не работает), получаем нормальное число

часов работы блюминга в году $21 \cdot 360 = 7560$ часов. При более осторожном подсчете принимают $20 \times 320 = 6400$ часов в году. Эту последнюю цифру можно принять, как характеризующую недостаточную налаженность производства: недостаточно хорошая работа нагревательных устройств, перебой в электроэнергии, недостатки в механизации и монтаже стана и его оборудования, перебой в снабжении металлом.



Фиг. 45.

Формулы для определения производительности блюминга

Обозначим через P годовую производительность блюминга в тоннах посяда в печь, через p — часовую производительность блюминга, через $\mathfrak{N}$ число часов фактической работы блюминга в году, через W — вес слитка в тоннах, через $\Sigma\tau$ — общее машинное время прокатки, т. е. суммарную продолжительность всех пропусков при прокатке одного слитка, через $\Sigma\tau_0$ — суммарную производительность пауз, определяемую или хронометражем действующих станов или вычислением, принимая в среднем на паре, без кантования $2,5''$ — $3''$ и с кантованием $7,5''$ — $9''$. Сюда же присоединяем паузу между концом прокатки одного слитка и началом прокатки следующего слитка от $20''$ до $30''$. Очевидно

$$p = W \frac{3600}{\Sigma\tau + \Sigma\tau_0} \quad (16)$$

$$\text{и } P = \mathfrak{N}p \text{ т. е. } \max = 7560 P.$$

Выше приведен способ достаточно точного определения τ , и следовательно $\Sigma\tau + \Sigma\tau_0$, если известна калибровка.

Таким образом можно достаточно точно определить нормальную производительность всякого блюминга как действующего, так и проектируемого.

Калибровка блюминга является основой этого определения.

Калибровка валков блюминга

Приступая к калибровке обжимных валков, необходимо иметь в виду решение следующих вопросов:

- 1) Какова должна быть производительность блюминга.
- 2) Каков должен быть вес слитков и размер выпускаемых из блюминга заготовок.
- 3) Каков должен быть наивыгоднейший диаметр валков, их угловая скорость и обжатие за каждый пропуск.

- 4) Какой мощностью должен обладать двигатель при стане.

Производительность блюминга должна быть максимальной в данных условиях производства, так как организация современного металлургического завода требует пропуска всего металла через блюминг. Исключения представляют только некоторые сорта легированной стали, отливаемой в мелкие слитки.

Основными факторами, определяющими производительность блюминга, являются следующие: а) конструкция стана, определяющая минимум потерь на паузы между пропусками и минимум потерь на смену валков и ремонт стана, б) двигатель, дающий возможность работать с максимальными скоростями, в) вес слитков и размер выпускаемых из блюминга сечений заготовки.

Часовая производительность блюмингов американской конструкции в зависимости от веса слитков (W т) и размера выпускаемой квадратной заготовки (сторона квадрата $= a$ мм) может быть выражена приблизительно следующей формулой:

$$p = A + B (a - 100). \quad (17)$$

Коэффициенты A и B в этой формуле зависят от веса слитка W и могут быть определены из следующих выражений:

$$A = 35,2 + 5,91 W$$

$$B = 0,634 + 0,091 W.$$

Эта формула дает ориентировочную производительность современного хорошо оборудованного американского блюминга при нормальной калибровке. Получаемые по этой формуле результаты следует считать скорее преуменьшенными, чем преувеличенными, так как непрерывный прогресс в оборудовании станов отражается на повышении их продуктивности (встречаются сведения о производительности на 20—30% выше и ниже). Для точного определения производительности следует пользоваться вышеизложенным методом.

Приведенная формула (17) дает представление о размере производительности блюминга в зависимости от веса слитка и сечения заготовки.

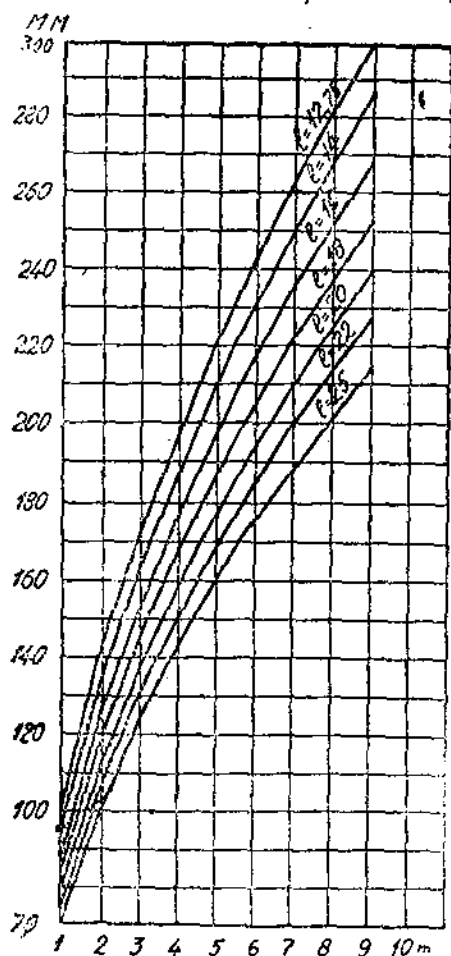
Результаты вычислений по этой формуле часовой и годовой производительности блюмингов американской конструкции приведены в таблице 8 (см. стр. 82).

В современных блюмингах при наличии при них непрерывных заготовочных станов обычно сечение выпускаемой из блюминга заготовки равно приблизительно 200×200 мм. При такой заготовке производительность блюминга из слитков 4—5 т равна приблизительно 800 000—1 000 000 т в год.

Поскольку наиболее распространено применение 4—5-тонных слитков, производительность блюминга 800 000—1 000 000 т в год является наиболее распространенной.

Таблица 8

Вес слитков	Сечевые за- готовки $a \times a$ мм	Часовая произ.	Годовая производит.	
			при 6400 ч.	при 7560 ч.
2	100×100	43	275000	325000
"	125×125	61,6	394000	466000
"	150×150	80	512000	605000
"	200×200	117,2	750000	886000
3	125×125	66,4	425000	502000
"	150×150	86	550000	650000
"	200×200	125	800000	944000
"	250×250	164,2	1056000	1210000
4	150×150	91,8	587000	694000
"	200×200	132,8	850000	1000000
"	250×250	174	1112000	1315000
5	200×200	140,6	900000	1060000
"	250×250	183,8	1175000	1390000
6	200×200	148,5	950000	1120000
"	250×250	193,5	1237000	1460000
"	300×300	233	1525000	1800000
7	200×200	156,4	1000000	1180000
"	250×250	203,2	1300000	1535000
"	300×300	250,0	1600000	1890000



Фиг. 46.

Однако применение более тяжелых слитков и в особенности более крупных сечений заготовки повышает производительность блюминга почти до 2 000 000 т в год.

На повышение производительности блюминга оказывает влияние не столько повышение веса слитка, сколько повышение сечения выпускаемой заготовки. Это объясняется тем, что при одном и том же сечении заготовки повышение веса слитка ведет за собою увеличение числа пропусков, а, следовательно, и машинного времени прокатки. Точно также с увеличением веса слитка несколько замедляется манипулирование с ним и, следовательно, удлиняются паузы.

Пользуясь таблицей 8, можно ориентировочно выбрать наилучший вес слитка для заданной производительности блюминга и заданного сечения заготовки.

На выбор веса слитка оказывает влияние также размер заданного сечения выпускаемой заготовки, так как наибольшая длина прокатываемой заготовки не должна превышать 25 м вследствие того, что слишком длинные блюмсы затрудняют манипулирование с ними.

Зависимость между минимальным сечением заготовки и весом слитка при данной максимальной длине заготовки определяется выражением: $W = a^2 l \gamma$,

где γ — удельный вес стали, равный 7,86.

очевидно

$$a = \sqrt{\frac{W}{7,86l}}$$

На фиг. 46 дана диаграмма минимальных сечений (aa) заготовки (ось ординат) в зависимости от веса слитка (ось абсцисс) и длины выпускаемой заготовки (отдельные кривые).

Чем больше вес слитка и, следовательно, его сечение, тем больше должен быть диаметр валков, так как с целью уменьшения числа пропусков и увеличения производительности блюминга калибровку ведут с максимальными обжатиями, т. е. углами захвата. Очевидно, чем шире слиток, тем больше давление металла на валки и тем прочнее, следовательно, должен быть валок.

Большой диаметр валков позволяет применять большие обжатия. При одних и тех же расстояниях между осями шестерен американские валки с гладкой бочкой посредине имеют больший катающий диаметр, чем европейские валки с врезанными в них ручьями.

Катающие диаметры европейских валков блюмингов в среднем составляют около 80% от катающих диаметров американских блюмингов того же размера (размер блюминга определяется диаметром шестерен). При одном и том же числе оборотов валков, очевидно, скорость прокатки в европейских валках равна 80% от скорости прокатки в американских валках.

Поэтому в европейских установках для повышения скорости прокатки моторы имеют максимальное число оборотов 120 в минуту, в то время как американские 150. Таким образом компенсируется действие уменьшения катающего диаметра валков.

Действительно $\frac{150}{120} \cdot \frac{80}{100} = 1$, т. е. скорости прокатки в обоих случаях равны. Можно дать следующую таблицу (таблица 9) для выбора диаметра валков блюминга.

Таблица 9

Толщина слитка	Диаметр шестерен	Диаметр валков в бочке
700—500	1300—1150	150—1000
500—400	1200—1000	1100—900
400—320	1000—800	900—750
320—220	800—600	750—600

Пользуясь этой таблицей для выбора диаметра валков, можно делать отступления в каждом частном случае в ту или другую сторону приблизительно на 50 мм.

Для определения обжатия за каждый пропуск следует исходить из стремления дать максимальную производительность при существующей мощности двигателя.

В виду того, что первые пропуски проходят с малой угловой скоростью, а последние с максимальной, то следует в первых пропусках брать самые высокие углы захвата, а в последних их понижать. Лучше всего в первом пропуске не превышать 24—26° и в последнем 12—18° в зависимости от сечения выпускаемой заготовки; 12—для 100×100 и 18—для 200×200 или 250×250. Исходя из этих углов захвата, можно определить рациональный режим обжатий в валках данного диаметра.

Например, требуется определить режим обжатий для слитка $\frac{530 \times 530}{570 \times 570}$ весом 4,56 т при прокатке заготовки 200×200 по таблице 9, выбираем диаметр валков 1000 мм в бочке.

Задаемся углом захвата в первом пропуске 24° и в последнем 18°.

Из формулы $H-h=D_0(1-\cos \varphi)$ имеем в первом пропуске $H-h=1000(1-0,9136)$ или $1000 \cdot 0,0864 = 86$ мм при $\varphi=24^\circ$ и в последнем пропуске $H-h=1000 \cdot 0,049 = 49$ мм при $\varphi=18^\circ$.

Соответственно получаем коэффициент обжатия

$$P = \frac{H-h}{H} = \frac{86}{570} = 0,151 \text{ в первом пропуске и}$$

$$P_n = \frac{H-h}{H} = \frac{49}{249} = 0,197 \text{ в последнем пропуске.}$$

Для определения коэффициента обжатий в промежуточных пропусках построим диаграмму режима обжатий (фиг. 47). На оси абсцисс наносим толщину H болванки перед каждым пропуском. На оси ординат наносим P_1 и P_2 коэффициент обжатия в первом и последнем пропуске. Перед первым пропуском $H_1=570$, перед последним $H_n=249$, так как в последнем пропуске дается обжатие 49 мм и выпускается заготовка 200×200 .

Соединяя точки P_1 и P_2 прямой линией, получаем диаграмму режима обжатий для всех пропусков в виде линии ab .

Эта диаграмма дана для прокатки в гладкой бочке диаметром 1000 мм. Построим теперь диаграмму режима обжатий для случая прокатки в калиброванных валках того же диаметра.

Известно, что диаметр валка в глубине калибра D_0 не должен быть меньше $0,66 D$. Примем в первом калибре $D_0 = 0,7$ м. $D=700$ мм, а в последнем $1000 - 200 = 800$ мм.

Исходя из тех же углов захвата $\varphi_1=24^\circ$ и $\varphi_n=18^\circ$, получаем:

$$\text{В первом пропуске } H-h=700 \cdot 0,0864=60 \text{ мм и } P_1 = \frac{60}{570} = 0,105.$$

$$\text{В последнем пропуске } H-h=800 \cdot 0,049=39 \text{ мм и } P_n = \frac{39}{239} = 0,164.$$

Нанося P и P при абсциссах 570 и 239, получаем диаграмму режима обжатий в калиброванных валках a_1b_1 (фиг. 47).

Проделаем пример калибровки валков, пользуясь найденной диаграммой.

Пусть первые два пропуски делаются в первом калибре и последние два пропуски в последнем калибре. Все остальные пропуски пусть делаются в гладкой бочке.

Расчет располагаем в таблице 10—11.

По диаграмме a_1b_1 находим для первого пропуски при $H=570$ коэффициента обжатия $P_1=0,105$.

Следовательно, $H-h=PH=0,105 \cdot 570=60$ мм. Уширение определяем по формуле $z=k(H-h)$, где k определяем по диаграмме 18; $k=0,05$. Следовательно, $z=0,05 \cdot 60 = 4$ мм.

Высота полосы после первого пропуски:

$$H_1=570-60=510 \text{ мм.}$$

Ширина полосы после первого пропуски:

$$B_1=570+4=574 \text{ мм} \quad \frac{B_1}{H_1} = 1,12.$$

Второй пропуск

Полоса поступает во второй пропуск в том же калибре с высотой $H_1=510$ мм.

По диаграмме a_1b_1 находим при $H=510$ для второго пропуски $P_2=0,115$.

Следовательно $H-h=0,115 \cdot 510=59 \sim 60$ мм. Принимаем 60 мм.

z , как и в первом пропуске, равно 4 мм.

$$H_2=510-60=450 \text{ и } B_2=574+4=578 \text{ мм.}$$

$$\frac{B_2}{H_2} = \frac{578}{450} = 1,28.$$

Третий пропуск

Переходя к гладкой бочке кантуем блюмс на 90° и находим P_3 по диаграмме ab для $H=570$

$$P_3 = 0,151.$$

$$\text{Отсюда } H-h = 0,151 \cdot 570 = 86 \text{ мм} \approx 85 \text{ мм}.$$

$$\text{Принимаем } 85 \text{ мм } z \approx 4 \text{ мм}$$

$$H_3 = 578 - 85 = 493 \text{ мм и } B_3 = 450 + 4 = 454 \text{ мм}$$

$$\frac{B_3}{H_3} = 0,92.$$

Четвертый пропуск

По диаграмме ab находим при $H=493$ $P_4=0,162$. Следовательно $H-h = 0,162 \cdot 493 = 80 \text{ мм}.$

$$z = 0,06 \cdot 80 \approx 4 \text{ мм}$$

$$H_4 = 493 - 80 = 413 \text{ мм} \quad \frac{B}{H} = 1,11$$

$$B_4 = 454 + 4 = 458 \text{ мм}.$$

Пятый пропуск

По ab при $H=413$ имеем:

$$P = 0,174 \text{ мм}$$

$$H-h = 0,174 \cdot 413 = 72 \sim 75 \text{ мм}$$

$$z = 4 \text{ мм}$$

$$H_5 = 413 - 75 = 338 \text{ мм}$$

$$B_5 = 458 + 4 = 462 \text{ мм} \quad \frac{B}{H} = 1,37.$$

Шестой пропуск

$$P = 0,184$$

$$H-h = 0,184 \cdot 338 = 62 \text{ мм} \sim 60 \text{ мм}$$

$$z = 4 \text{ мм}$$

$$H_6 = 338 - 60 = 278 \text{ мм} \quad \frac{B}{H} = 1,67$$

$$B_6 = 462 + 4 = 466 \text{ мм}.$$

При отношении $\frac{B}{H} = 1,5$ проф. Тафель рекомендует производить кантование. Поэтому после шестого пропуска кантуем на 90° .

Седьмой пропуск

При $H=466$ находим по ab $P_7=0,167$

$$H-h = 0,167 \cdot 466 = 78 \sim 80 \text{ мм}$$

$$z = 4 \text{ мм}$$

$$H_7 = 466 - 80 = 386 \text{ мм} \quad \frac{B}{H} < 1,0$$

$$B_7 = 278 + 4 = 282 \text{ мм}.$$

Восьмой пропуск

$$\begin{aligned}P_8 &= 0,177 \\H - h &= 0,177 \cdot 386 = 68 \sim 70 \text{ мм} \\z &= 4 \text{ мм} \\H_8 &= 386 - 70 = 316 \text{ мм} \quad \frac{B}{H} < 1 \\B_8 &= 282 + 4 = 286 \text{ мм.}\end{aligned}$$

Девятый пропуск

$$\begin{aligned}P_9 &= 0,188 \\H - h &= 0,188 \cdot 316 = 60 \text{ мм} \\z &= 0,09 \cdot 60 = 5 \text{ мм} \\H_9 &= 316 - 60 = 256 \text{ мм} \quad \frac{B}{H} = 1,14 \\B_9 &= 286 + 5 = 291 \text{ мм.}\end{aligned}$$

Десятый пропуск

$$\begin{aligned}P_{10} &= 0,195 \\H - h &= 0,195 \cdot 256 = 50 \text{ мм} \\z &= 5 \text{ мм} \\H_{10} &= 256 - 50 = 206 \text{ мм} \quad \frac{B}{H} = 1,44 \\B_{10} &= 291 + 5 = 296 \text{ мм}\end{aligned}$$

Одиннадцатый пропуск

$$\begin{aligned}P_{11} &= 0,190 \\H - h &= 0,190 \cdot 296 = 56 \text{ мм} \\z &= 0,11 \cdot 56 = 6 \text{ мм} \\H_{11} &= 296 - 56 = 240 \text{ мм} \\B_{11} &= 206 + 6 = 212 \text{ мм.}\end{aligned}$$

Двенадцатый пропуск

$$\begin{aligned}P_{12} &= 0,197 \\H - h &= 0,197 \cdot 240 = 47 \sim 45 \text{ мм.} \\z &= 0,11 \cdot 50 \cong 6 \text{ мм} \\H_{12} &= 240 - 45 = 195 \text{ мм.}\end{aligned}$$

Перед последним пропуском кантуем. Последний пропуск даем в ручьях.

Тринадцатый пропуск

$$H_{13} = 200 \text{ и } B_{13} = 200$$

здесь $H - h = 18$ и $z = 5$ мм.

Итак, прокатка слитка происходит в 13 пропусков.

Найдем длину штуки после каждого пропуска из выражения

$$W = F \cdot l \cdot 7,86$$

$$l_x = \frac{W}{7,86 F_x}$$

Здесь $W = 0,98 \cdot 4,47 \text{ т.}$

Принимаем 2% на угар.

Принимаем в горячем состоянии удельный вес штуки 7,8.

$$F_x = H_x B_x$$

$$l_x = \frac{4,47}{7,8 F} = \frac{0,573}{F_x}$$

Подставляя F_x для каждого пропуска, находим l .

$$l_1 = \frac{0,573}{0,292} = 1,96 \text{ мм.}$$

Получилась длина меньше длины слитка потому, что в действительности удельный вес меньше 7,8 вследствие наличия усадочной раковины, других пустот и включений газа. Полученная длина указывает, что в первом пропуске еще не достигнуто полное уплотнение слитка, поэтому принимаем длину после пропуска 2,15 м, т. е. равной длине слитка.

Таким же образом находим длину штуки после второго пропуска

$$l_2 = \frac{0,573}{0,260} = 2,2 \text{ м, т. е. больше исходной длины слитка.}$$

Это означает, что после второго пропуска в данном случае уже достигнуто уплотнение слитка.

Также определяем остальные l_x

Пользуясь формулой (15) и диаграммой 45, находим

$$\tau_x = M + N \cdot \frac{1}{D}$$

Значения $M, N, N \cdot \frac{1}{D}$ и τ_x приведены в таблице 10-11. Общая продолжительность прокатки равна 110". Следовательно, часовая производительность равна:

$$P = 5,56 \cdot \frac{3600}{110} = 149 \text{ т.}$$

Годовая производительность при 7560 час. равна:

$$P = 7560 \cdot 149 = 1\,130\,000 \text{ т.}$$

По ориентировочной формуле:

$$P = A + B(a - 100),$$

где $A = 35,2 + 3,91 \cdot 4,56 = 53$

$$B = 0,664 + 0,0391 \cdot 4,56 = 0,842$$

$$P = 53 + 0,842 \cdot 100 = 137 \text{ т.}$$

По ориентировочной формуле приблизительно на 10% меньше.

Приведем еще один пример калибровки для прокатки слитка $300 \times 300 \times 1500$ весом $W = 1$ т в заготовку 100×100 . Сталь хромоникелевая. Валки не должны иметь насечки. Поэтому примем в первом пропуске $\varphi_1 = 18^\circ$ и в последнем $\varphi_n = 12^\circ$.

По таблице 9 выбираем диаметр валков в бочке 900 мм. Будем вести прокатку в гладкой бочке до предпоследнего пропуска.

Определим P_1 и P_n для построения диаграммы режима обжатий для гладкой бочки 900 мм.

$$1 - \cos 18^\circ = 0,0489$$

$$1 - \cos 19^\circ = 0,0218$$

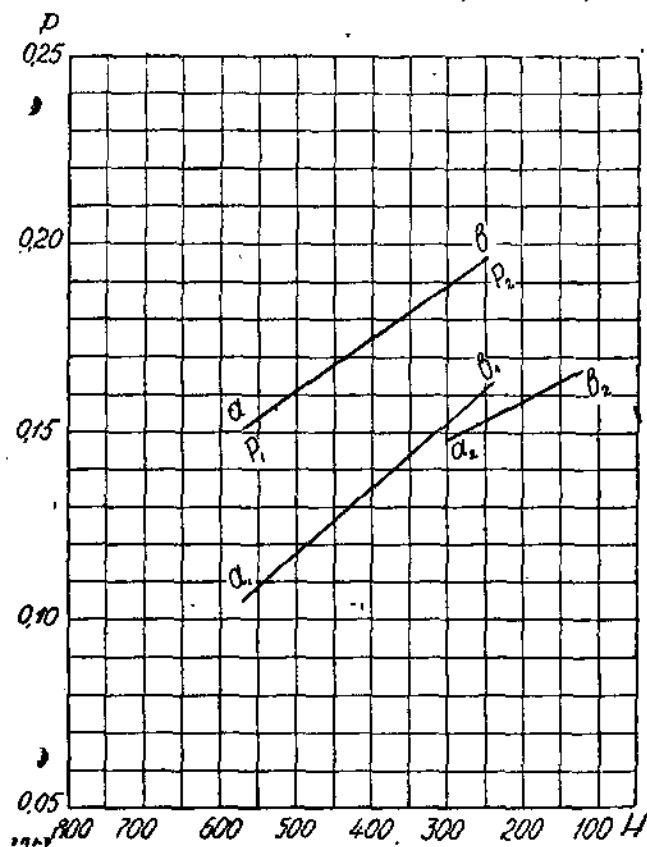
Следовательно в первом пропуске

$$H - h = 900 \cdot 0,0489 = 44 \text{ мм}$$

$$P_1 = \frac{44}{300} = 0,148.$$

В последнем пропуске

$$H - h = 900 \cdot 0,0218 = 19,6 \text{ или } 20 \text{ мм}$$



Фиг. 47.

$$P_n = \frac{20}{120} = 0,167.$$

На фиг. 47 наносим по этим точкам диаграмму режима обжатий a_2 b_2 .

Аналогично предыдущему примеру проводим калибровку в таблице 10-11.

Пояснений хода расчета не требуется.

Для вычисления l_x принимаем после угара вес слитка 0,98 т.

Следовательно

$$l_x = \frac{0,98}{7,8 F_x} = \frac{0,01257}{F_x}.$$

Подставляя F_x , определяем l_x .

Результат показывает, что металл уплотнен после первого же пропуска.

Продолжительность прокатки 117,3".

Часовая производительность

$$P = \frac{3600}{117,3} = 30,7 \text{ т.}$$

Годовая производительность при 7560 час.

$$P = 30,7 \cdot 7560 = 232000 \text{ т.}$$

Для сравнения приведем калибровку такого же размера слитка в заготовку 100×100 , приведенную проф. Тафелем в его книге „Прокатка и калибровка“ (стр. 127, русск. пер., изд. 1930 г.) в калиброванных валках. Калибровка представлена в таблице 12.

Данная нами калибровка в гладких валках имеет следующие [преимущества:

- 1) у Тафеля принято слишком высокое уширение;
- 2) у Тафеля число пропусков больше на 2;
- 3) у Тафеля нет методичности в проведении калибровки;
- 4) у Тафеля менее равномерно распределены коэффициенты вытяжки;
- 5) у Тафеля много кантований: на 2 больше;
- 6) производительность по калибровке Тафеля ниже.

Калибровку следует заканчивать вычислением расхода энергии и определением мощности отдельных пропусков. Для этого лучше всего поль-

Таблица 10-11.

№ пр.	P	H-h	Z	H	B	$\frac{B}{H}$	F ₂	D ₀	L _z	M	N	N $\frac{1}{D}$	τ_z	τ_0	μ
1	0,148	45	4	255	304		0,0775	900	1,62	0,00	1,04	1,16	1,16	2,5	1,16
2	0,152	40	4	215	308	1,43	0,0662	"	1,90	0,00	1,10	1,22	1,22	7,5	1,17
3	0,147	45	4	263	219		0,0576	"	2,78	0,01	1,16	1,29	1,30	2,5	1,15
4	0,152	40	4	223	223		0,0497	"	2,53	0,02	1,23	1,37	1,39	2,5	1,16
5	0,137	35	4	188	227		0,0427	"	2,94	0,04	1,34	1,49	1,53	2,5	1,16
6	0,160	80	4	158	231	1,5	0,0365	"	3,44	0,06	1,44	1,60	1,66	7,5	1,17
7	0,155	85	4	196	162		0,0317	"	3,96	0,08	1,56	1,72	1,80	2,5	1,15
8	0,159	80	4	166	166		0,0276	"	4,55	0,10	1,66	1,85	1,95	2,5	1,15
9	0,162	27	4	139	170		0,0236	"	5,32	0,14	1,81	2,01	2,15	2,5	1,17
10	0,165	23	4	116	174	1,5	0,0202	"	6,22	0,21	1,95	2,17	2,38	7,5	1,17
11	0,161	28	4	146	120		0,0175	"	7,18	0,28	2,10	2,33	2,61	2,5	1,16
12	0,164	24	4	122	124		0,0151	"	8,32	0,37	2,26	2,51	2,88	2,5	1,16
13	0,168	20	4	102	128		0,0131	"	9,60	0,46	2,45	2,72	3,18	2,5	1,15
14	—	6	1	96	129	1,3	0,0124	"	10,13	0,50	2,52	2,80	3,30	7,5	1,06
15	—	29	4	100	100		0,0100	800	12,57	0,67	2,80	3,11	3,78	30	1,24
													32,29	85	
													117,3		

Таблица 12.

№ пр.	P	H	B	$\frac{B}{H}$	№№ ка-либр.	Z	H-h	μ
1	0,15	255	315	1,25	I	15	45	1,12
2	0,15	270	270			15	45	1,10
3	0,15	230	283	1,25		13	40	1,12
4	0,15	240	244			14	43	1,11
5	0,15	205	256	1,3		16	35	1,12
6	0,15	218	217		II	12	38	1,11
7	0,15	185	229	1,24		12	33	1,12
8	0,20	184	200			15	45	1,55
9	0,20	146	212	1,45		12	38	1,19
10	0,20	170	160		III	14	42	1,14
11	0,20	136	171	1,25		11	34	1,17
12	0,20	136	148		IV	12	35	1,16
13	0,225	105	159	1,5		11	31	1,21
14	0,25	120	118		V	13	39	1,15
15	0,25	90	128			8	30	1,24
16	0,15	109	96			6	19	1,10
17	0,10	99	99			3	10	1,05

зоваться разработанным мною методом при помощи коэффициентов прокатки (см. Расход энергии при прокатке и мощность двигателей при станах).

Скорость в каждом пропуске определяется из выражения

$$V_z = \frac{L_z}{\tau_z}$$

Условие держания болванки углами калибра во всех ручьях требует, чтобы в нечетных ручьях обжатие происходило только в одном направлении, а в четных — в другом перпендикулярном направлении. Это в калибровке Тафеля не соблюдено.

Четыре пропуска в одном ручье без поворота иногда влекут за собой загиб болванки в вертикальной плоскости вследствие неравномерной температуры слитка или разности в диаметре валков. В таком случае следует давать болванке поворот на 180° после двух пропусков. Вместо этого часто дают поворот на 90° после двух пропусков, не доводя сдвигания валков до конца, как указано было выше. В этом случае не исключена возможность свертывания, и приходится работать очень малыми обжатиями. Пример подобной калибровки см. Hütte „Справочная книга для металлургов“, стр. 859.¹

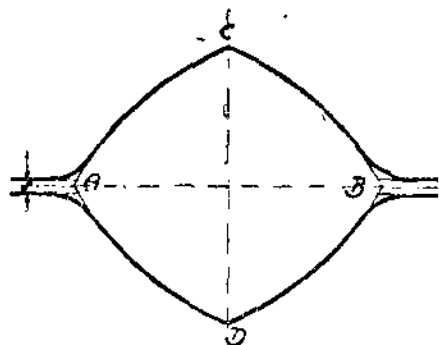
Станы блюминг употребляются для обжима слитков и прокатки квадратной заготовки не менее 100×100 мм. Для получения более мелкой заготовки употребляются стрельчатые и чаще плоские и ромбические ручки в более легких обжимных станах диаметром 650—450 мм обычно трио.

Однако не исключена возможность прокатки в блюминге и мелкой заготовки в тех случаях, когда блюминг недогружен: подобное использование блюминга осуществлено еще в 1902 году в Америке на заводе Grand Crossina Intertstat Steel Co., при чем блюминг с диаметром валков 885 мм был снабжен специальной круговой проводкой для автоматической передачи полосы с задней стороны в переднюю.

Работа блюминга распадается на два периода: сначала слиток прокатывается в ручьях блюминга с обычным кантованием его и реверсированием после пропуска, затем, когда кантование становится затруднительным, прекращается реверсирование блюминга, и полоса, заданная в один из жолобов круглой проводки, по выходе из валков, автоматически направляется обратно к передней стороне стана. При этом блюминг сохраняет все время вращение в одну сторону, полоса же делает несколько пропусков.

Обжимные станы трио

Обжимные станы трио снабжаются маховиком и, следовательно, работают с постоянным числом оборотов. Валки станов трио во время работы не раздвигаются, поэтому каждому пропуску отвечает особый калибр.



Фиг. 48.

Формы калибров в обжимных станах трио могут быть: плоские, как в блюмингах, стрельчатые, ромбические, чередующиеся ромбы и квадраты, чередующиеся квадраты и овалы и, наконец, в одном и том же трио — комбинация всех или нескольких видов этих калибров.

Рассмотрим построение этих калибров, определение размеров их элементов и определение площадей ряда калибров.

Стрельчатые ручки и калибры

Стрельчатыми калибрами называются открытые четырехугольные, ограниченные дугами круга, калибры, расположенные таким образом, что одна из диагоналей калибра вертикальна, другая — горизонтальна. Вычер-

¹ Применение линеек американского типа предотвращает свертывание.

ние их производится следующим образом. Площадь калибра Q определяется данной. Выбираем одну из диагоналей, например, горизонтальную b_n , которую можно определить по формуле Кирхберга $b_n \cdot h_{n-1}$, где h_{n-1} вертикальная диагональ ближайшего большего калибра или вертикальную диагональ $h_n = b_{n+1}$ где b_{n+1} есть горизонтальная диагональ ближайшего меньшего калибра; z — уширение.¹

Остальные размеры определяются из таблицы Кирхберга (см. таблицу 13).

Таблица 13

Для вычисления стрелчатых калибров

$\frac{b}{h}$	$\frac{Q}{h^2}$	$\frac{Q}{b^2}$	$\frac{b}{h}$	$\frac{Q}{h^2}$	$\frac{Q}{b^2}$	$\frac{b}{h}$	$\frac{Q}{h^2}$	$\frac{Q}{b^2}$
1,10	0,679	0,61	1,24	0,760	0,494	1,38	0,844	0,443
1,11	0,685	0,556	1,25	0,766	0,490	1,39	0,850	0,440
1,12	0,691	0,550	1,26	0,772	0,486	1,40	0,856	0,437
1,13	0,696	0,545	1,27	0,778	0,482	1,41	0,862	0,434
1,14	0,702	0,540	1,28	0,784	0,478	1,42	0,868	0,431
1,15	0,708	0,535	1,29	0,790	0,475	1,43	0,874	0,428
1,16	0,714	0,530	1,30	0,796	0,471	1,44	0,881	0,425
1,17	0,720	0,526	1,31	0,802	0,467	1,45	0,887	0,422
1,18	0,725	0,521	1,32	0,808	0,464	1,46	0,893	0,419
1,19	0,731	0,516	1,33	0,814	0,460	1,47	0,899	0,416
1,20	0,737	0,511	1,34	0,820	0,456	1,48	0,905	0,413
1,21	0,743	0,507	1,35	0,826	0,453	1,49	0,911	0,410
1,22	0,749	0,503	1,36	0,832	0,449	1,50	0,917	0,407
1,23	0,755	0,498	1,37	0,838	0,446			

По данным Q и h или Q и b определяются значения $\frac{Q}{h^2}$ или $\frac{Q}{b^2}$, найденные значения при помощи 2-ой и 3-ей графы таблицы дают возможность найти отношение $\frac{b}{h}$ в 1-ой графе. Поэтому, если дано h , то находится b , если дано b — находится h . Таблица дает возможность по изменению в натуре h или b и $\frac{b}{h}$ находить площадь существующих калибров.

Полученные значения b и h наносят на взаимноперпендикулярных осях и из точек A, B, C и D радиусом, равным AB , делают засечку для определения центров дуг AC, BC, BD и AD . Из центров проводятся упомянутые дуги. Углы закругляются радиусом $r=0,2 CD$.

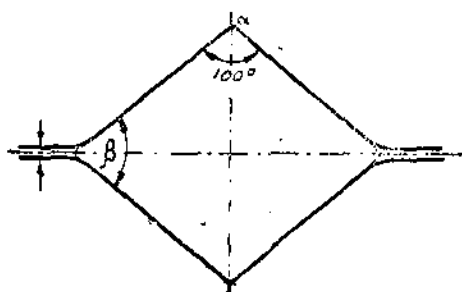
Зазор между валками обычно от 3 до 7 мм, или от 0,8 до 1,5% от D .

Ромбические ручьи и калибры

Ромбические калибры, по существу, являются теми же стрелчатыми калибрами как по назначению, так и по расположению диагоналей: разница заключается только в том, что стороны ручья будут вместо дуг прямые линии и при той же площади калибра ромбический ручей еще глубже врезается в тело вала. Чаше всего ромбы проектируются с углом $\alpha=100^\circ$ и $\beta=80^\circ$ (фиг. 49). Зависимость между стороной ромба a и диагональю b , также между h и b , очевидно, определяется следующими соотношениями:

$$h = b \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}; \quad a = \frac{b}{2 \sin \alpha/2}.$$

¹ Можно или совсем пренебречь уширением или определять его по диаграмме (фиг. 18).



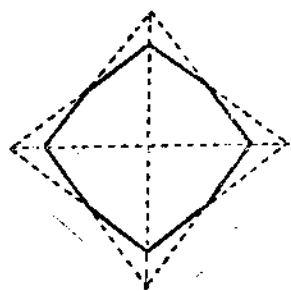
Фиг. 49.

Зависимость между Q , h и b , как известно из геометрии, такова:

$$Q = \frac{hb}{2}.$$

Отсюда, если известно h или b , то определяется b или h и Q и наоборот, Q вполне определяет h и b .¹ Радиус закругления равняется 0,25 диаметра круга, вписанного в ромб.

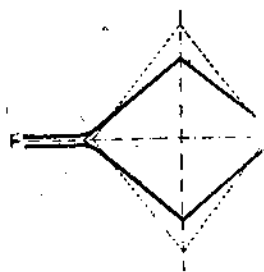
Из ромбического калибра легко получить квадратную заготовку, если, получив из какого-нибудь калибра ромбическую полосу, пропустить ее



Фиг. 50.

еще раз в тот же калибр, повернув предварительно полосу на 90° . В результате получится, как видно из чертежа (фиг. 50), восьмиугольник весьма близкий по форме к квадрату.

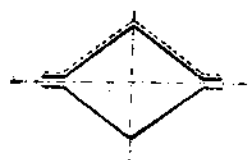
Если же принять в расчет, что при охлаждении такой заготовки, как и всякого квад-



Фиг. 51.

рата, происходит утяжка внутрь граней, то по охлаждении такого восьмиугольника получится почти совершенный квадрат.

Поэтому ромбические ручки в обжимном стане удобны для получения квадратной заготовки для дальнейшей прокатки. Если мы имеем ряд ромбов с уменьшающимися площадями и при том такой ряд, что ширина каждого последующего калибра равна или несколько больше высоты предыдущего калибра, то стоит только при прокатке поворачивать полосу перед каждым пропуском на 90° , чтобы было место для уширения (фиг. 51). Пунктиром изображена ромбическая полоса из предыдущего калибра, задаваемая в последующий ромбический калибр. С целью возможности



Фиг. 52.

получения из обжимного стана возможно большего числа различного размера квадратных заготовок иногда проектируют ручки в обжимных валках, не принимая в расчет правильности в обжатии, таким образом, чтобы можно было получить ассортимент следующих квадратов:

$$3\frac{1}{4}''; 3\frac{1}{2}''; 3\frac{3}{4}''; 3''; 2\frac{3}{4}''; 2\frac{1}{2}''; 2\frac{1}{4}''; 2''; 1\frac{7}{8}''; 1\frac{1}{4}''; 1\frac{5}{8}''; 1\frac{1}{2}''.$$

Слегка приподнимая верхний валок, можно получить заготовку промежуточных размеров (фиг. 52). Для получения требуемого квадрата полосу пропускают через каждый калибр или через калибр, последовательно до того калибра, который дает нужный размер.

Изобразим вышеприведенный ряд калибров в миллиметрах (таблица 14).

Здесь a —сторона квадрата, h —вертикальная диагональ ромбического калибра, b —горизонтальная диагональ того же калибра. Очевидно, полосу можно передавать из I калибра во II или прямо в III, из II—в IV, из III—в V, и т. д... из VII—в X, из IX—в XI и из X—в XII.

Однако в тех случаях, когда имеют дело с массовым производством известных профилей, для которых размер заготовки должен быть постоянным, ряд стрелчатых и ромбических калибров проектируется таким

¹ Пусть дано Q и $\alpha = 100^\circ$. Следовательно $\beta = 80^\circ$. Имеем $b = \frac{2Q}{h}$, $h = b \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}$. Отсюда

$$b^2 = \frac{2Q}{\operatorname{tg} 40^\circ}, \quad b = \sqrt{\frac{2Q}{0,84}}$$

Таблица 14

	$\frac{3}{4}"$	$\frac{1}{2}"$	$\frac{3}{4}"$	$3"$	$2\frac{3}{4}"$	$2\frac{1}{2}"$	$2\frac{1}{4}"$	$2"$	$1\frac{7}{8}"$	$1\frac{3}{4}"$	$1\frac{5}{8}"$	$1\frac{1}{2}"$
a	93	87	81	75	68	62	56	50	47	44	41	38
h	131	123	114	106	96	87	79	71	66	62	58	53
b	156	147	136	128	114	103	94	85	79	74	69	63
N	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII

образом, чтобы, по возможности, ускорить обжатие. Если в обжимном стане с неподвижными валками пользоваться переменными коэффициентами вытяжки по формуле Кирхберга

$$f_y = f_x + \frac{f_x^2}{100},$$

то очень скоро получают обжатия, выходящие из пределов допускаемого угла захвата, тем более, что врезаны в валки углами калибра штука захватывается плохо вследствие малой поверхности трения.

Например, если прокатывать болванку 90×90 мм в валках с диаметром 60 мм, то, очевидно, максимальный коэффициент вытяжки здесь будет равен 1,3 из следующего расчета: площадь квадратной заготовки и площадь ромбической полосы, выходящей из валков, деленные одна на другую — коэффициент вытяжки.

Площадь квадрата равна 90×90 .

Максимальное вертикальное обжатие для $D=600$ мм при $\varphi=29^\circ$, прием 50 мм, поэтому вертикальная диагональ ромба равна $90 \cdot 1,41 - 50 = 77$ мм.

Полагая размер горизонтальной диагонали $90 \cdot 1,41 = 127$ мм, имеем площадь ромба $\frac{77 \times 127}{2}$.

Отсюда $\mu_{\max} = \frac{90 \times 90 \times 2}{77 \times 127} = 1,3$. С уменьшением толщины полосы при том же D вытяжка может возрастать.

Поэтому вполне ясным представляется то на первый взгляд ненормальное явление, что часто коэффициент вытяжки в обжимных станах от меньших ручьев к большим не только не возрастает, чего требовала бы большая пластичность металла, но даже убывает. Отсюда понятно также, что часто при калибровке обжимных станов пользуются постоянным коэффициентом вытяжки для ряда калибров. Этот коэффициент обычно заключается в пределах 1,2—1,4.

Можно или выбрать постоянный коэффициент вытяжки в указанных пределах, сообразуясь с диаметром валков и размерами болванки, и тогда определяется число калибров, или же задаться числом калибров и определить для расчета размера их коэффициент вытяжки.

Пусть Q_0 есть площадь исходной болванки и μ исходный коэффициент вытяжки, тогда, независимо от формы калибров, имеем:

$$\begin{aligned} Q_0 &= \mu Q_1 = \mu^n Q_n \\ Q_1 &= \mu Q_2 = \mu^{n-1} Q_n \\ Q_2 &= \mu Q_3 = \mu^{n-2} Q_n \\ &\dots \dots \dots \\ Q_{n-1} &= \mu Q_n = \mu Q_n \end{aligned}$$

Помножив отдельно члены первого и второго столбца и произведя сокращение одинаковых множителей или же подставляя в каждой строке вместо $Q_1, Q_2, \dots, Q_{n-1}$ их значения из следующих строк, очевидно, получаем $Q_0 = \mu^n Q_n$, где Q_n — площадь сечения окончательного продукта прокатки (заготовки), а n — число калибров.

Отсюда, если известно μ, Q_0 и Q_n , определяется число калибров:

$$n = \frac{\lg Q_0 - \lg Q_n}{\lg \mu}.$$

Если известны n, Q_0 и Q_n , определяется коэффициент вытяжки:

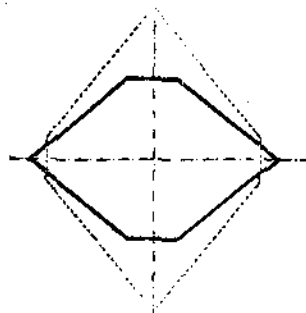
$$\mu = \sqrt[n]{\frac{Q_0}{Q_n}}.$$

Часто построение ряда ромбов или стрелчатых калибров производится по правилу: высота (вертикальная диагональ) предыдущего калибра равна ширине (горизонтальной диагонали) последующего калибра.

Определим коэффициент вытяжки в этом ряде калибров.

Так как площади подобных ромбов относятся между собою как квадраты сходственных диагоналей, то

$$\mu = \frac{b^2}{b_1^2} = \frac{b^2}{h^2} = \frac{b^2}{b^2 \operatorname{tg}^2 40^\circ} = \frac{1}{\operatorname{tg}^2 40^\circ} = \frac{1}{0,84^2} = 1,41.$$



Фиг. 53.

Итак, коэффициент вытяжки в этом случае равен 1,41. Из условия построения калибров видно, что в этом ряде калибров нет места уширению, поэтому при прокатке будут образовываться заусенки вместе стыка валков. Во избежание этого притупляют углы ромба при вертикальных диагоналях, как показано на фиг. 53; именно, не изменяя угла, уменьшают высоту калибра, срезая угол горизонтальной линией или закругляя его. Таким образом увеличивается вертикальное обжатие, и в следующий калибр ромбическая полоса поступает меньшей ширины, чем ширина ручья (фиг. 53).

Подобное притупление угла в ромбических и квадратных ручьях очень распространено, однако оно недопустимо в тех случаях, когда необходимо получать заготовку с острыми кромками. В таком случае нельзя пользоваться вышеприведенным правилом построения ряда ромбических ручьев, но делать ширину последующего калибра несколько больше высоты предыдущего, пользуясь формулой

$$b_1 = h + z,$$

при чем коэффициент вытяжки при $\alpha = 100^\circ$ и $\beta = 80^\circ$ должен быть меньше 1,41.

Стрелчатые ручьи непригодны для выпуска квадратной заготовки, поэтому в обжимном стане стрелчатые ручьи могут лишь предшествовать ромбическим ручьям.

Иногда обходятся без стрелчатых ручьев, если толщина болванки допускает это. В валках 600 мм диаметром болванки толщиной выше 90 мм уже трудно катать в ромбических ручьях, так как получаются очень глубокие врезы в валок. Поэтому приходится прибегать к менее глубоко врезающимся стрелчатым ручьям, как это было выяснено выше. Если болванки еще крупнее, то приходится по тем же соображениям прибегать к плоским ручьям, подобным ручьям блюминга.

Приведем пример методического расчета калибровки в стрелчатых ручьях с постоянным коэффициентом вытяжки.

Дана исходная болванка сечением 100×100 мм. Следовательно $Q = 10000$ мм.

требуется получить заготовку сечением 50×50 . Следовательно $Q_n = 50$ мм.

Лучше всего пользоваться правилом, что высота предыдущего калибра порядка $\frac{b}{h}$ прокатки равна ширине последующего калибра и что во всех калибрах отношение $\frac{b}{h}$ одинаково.¹ В данном случае коэффициент вытяжки μ также будет постоянным для всех калибров.

Действительно, при постоянном отношении $\frac{b}{n}$ ряд стрельчатых калибров представляет собою ряд геометрических фигур, следовательно, можно написать:

$$\mu = \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{h_1^2}{h_2^2},$$

но $h_1 = b_2$, следовательно $\mu = \frac{b_2^2}{h_2^2}$ поскольку b/n есть величина постоянная, имеем

$$\mu = \left(\frac{b}{h}\right)^2 = \text{const} \text{ и } \frac{b}{h} = \sqrt{\mu}.$$

Из последнего выражения вытекает, что отношение $\frac{b}{n}$ есть основная характеристика не только каждого стрельчатого калибра, но определяет собою и вытяжку металла в них. Достаточно задаться $\frac{b}{h}$, чтобы получить μ и наоборот. Сказанное в полной мере относится также и к ромбическим калибрам.

Обычно для стрельчатых калибров $\frac{b}{h}$ находится в пределах 1,1—1,5, для каковых пределов и составлена таблица Кирхберга для стрельчатых калибров. Следовательно и μ находится в пределах 1,1²—1,5², т. е. от 1,21 до 2,25. Наиболее распространенными вытяжками являются:

$$1,26 \left(\text{отвечает } \frac{b}{h} = \frac{9}{8} \right); 1,3 \left(\frac{b}{h} = \frac{8}{7} \right); 1,36 \left(\frac{b}{h} = \frac{7}{6} \right) \text{ и } 1,44 \left(\frac{b}{h} = \frac{6}{5} \right).$$

Коэффициенты $\mu > 1,41$ до 2,25 целесообразно применять в случае мелких заготовок. Они не позволяют пользоваться правилом $b_2 = h_1$, так как при значительном обжатии уширение становится также значительным и $b_2 = h_1 + z$. Уширение можно определить по диаграмме для k .

Определим для нашего случая μ и $\frac{b}{h}$, пользуясь формулой:

$$\mu = \sqrt[n]{\frac{Q_0}{Q_n}}.$$

Найдем $n_{\max}$ и $n_{\min}$ для $\mu = 1,21$ и $\mu = 1,41$. Логарифмируем приведенное выражение, подставив значения Q_0 и Q_n :

$$n_{\max} = \frac{\lg 10000 - \lg 2500}{\lg 1,21} = 7$$

$$n_{\min} = \frac{\lg 10000 - \lg 2500}{\lg 1,41} = 4.$$

¹ В этом случае, как мы видели раньше, диаграмма натуральных вытяжек наиболее благоприятна.

Итак, число пропусков может быть 4, 5, 6 или 7. Остановимся, например, на 6 пропусках. Тогда находим μ .

$$\mu = \sqrt[6]{\frac{10(0)}{2500}} = 1,26 \text{ и } \frac{b}{h} = \sqrt{1,26} = 1,12.$$

Теперь мы можем определить площади каждого калибра. Целесообразно располагать вычисления следующим образом (см. таблицу 15):

Таблица 15

		Логарифмируем	Определением
Q_6	2500 . 1		2500 мм ²
Q_5	2500 . 1,26	3,39794 + 0,10334 = 3,49827	3150 "
Q_4	2500 . 1,26 ²	" " + 0,200668 = 3,59891	3968 "
Q_3	2500 . 1,26 ³	" " + 0,301002 = 3,69894	5000 "
Q_2	2500 . 1,26 ⁴	" " + 0,401336 = 3,79928	6299 "
Q_1	2500 . 1,26 ⁵	" " + 0,501670 = 3,89961	7936 "
Q_0	2500 . 1,26 ⁶	" " + 0,602070 = 4,00000	10000 "

Имея Q и $\frac{b}{h}$, можно, пользуясь таблицами Кирхберга, найти элементы каждого калибра. Это непременно надо сделать для первого или последнего пропуска, как исходных.

Покажем здесь, как надо пользоваться таблицами Кирхберга. По последним находим, что отношению $\frac{b}{h} = 1,12$ отвечает отношение $\frac{Q_2}{h_2} = 0,691$. Подставляя для VI калибра $Q_6 = 2500$, имеем:

$$h_6^2 = \frac{Q}{0,691} \text{ или } h_6 = \sqrt{\frac{2500}{0,691}} = 60 \text{ мм.}$$

Из $\frac{b}{h} = 1,12$ находим $b_6 = 1,12 \cdot 60 = 68$.

Составим табличку 16, пользуясь правилом $b_n = h_{n-1}$ и $b_n = 1,12 h_n$.

Таблица 16

№№ калибр.	h	b	Проверка h
VI	60	68	
V	68	1,12 . 68 = 76	$\sqrt{\frac{350}{0,691}} = 68$
IV	76	1,12 . 76 = 85	
III	85	1,12 . 85 = 96	
II	96	1,12 . 96 = 107	$\sqrt{\frac{3968}{0,691}} = 76$
I	107	1,12 . 107 = 120	
0	110		и т. д.

Если μ и $\frac{b}{h}$ вычислены не достаточно точно и число калибров велико, то при вычислении b и h по правилу $b_n = h_{n-1}$ может накопиться значительная ошибка, поэтому полезно проверять h , вычисляя их по таблице Кирхберга для остальных калибров, как это сделано для VI калибра.

Обращаясь к вычисленным размерам калибров, мы замечаем, что размеры первого и последнего стрелчатых калибров не соответствуют размерам исходного и конечного квадратов, хотя и имеют соответственно тождественные с ними площади. Конечно, так и должно быть, раз вместо квадратных мы строим стрелчатые профили.

Желая получить в VI калибре квадрат 50×50 мм, очевидно, не меняя площади профиля, должны вместо стрельчатого калибра поставить квадратный с диагоналями $50 \cdot \sqrt{2} = 71$ мм, что и делаем.

Далее мы замечаем, что между первым калибром и исходной болванкой приходится вставить нулевой калибр, в котором нет вытяжки¹, так как площадь его равна площади квадрата. В этом лишнем ручье происходит в действительности небольшая вытяжка, но главным образом раздавливание одной из диагоналей и утяжка другой.

Хотя в нем ширина ($b_0 = 135$) меньше диагонали исходной болванки ($b = 141$), но это вызывается наличием в болванке закруглений в углах, поглощающих эту разницу, и кроме того в разрезе калибров также имеются закругления, которые дают место избытку металла.

Таблица 17

№№ калибров	Q	h	b	$\Delta - \delta$	D	D_0	b
VI	2500	(80) 71	(68) 71	5	—	329	10
V	3150	68	76	17	—	332	18,5
IV	3968	76	85	20	—	324	20,5
III	5000	85	96	22	—	315	22
II	6299	96	107	24	336	304	23
I	7936	107	120	28	387	293	25,5
0	9090	110	135	25	360	290	22,5
Болв.	10000	135	135		400		

Удобно весь расчет вести в виде прилагаемой таблицы 17. В таблице приведено определение необходимого диаметра валков, принимая максимальный угол захвата $\varphi = 26^\circ$.

Выведем формулу для решения этой задачи:

$$\Delta - \delta = D_0(1 - \cos \varphi), \text{ по } D_0 = D - \delta.$$

Отсюда

$$1 - \cos \varphi = \frac{\Delta - \delta}{D - \delta} \text{ и } D = \frac{\Delta - \delta \cos \varphi}{1 - \cos \varphi}$$

при $\varphi = 26^\circ$ имеем:

$$D = 10(\Delta - 0,9 \delta).$$

В данном случае в нулевом калибре $D = 10(135 - 0,9 \cdot 110) = 360$.

В I калибре $D = 10(135 - 0,9 \cdot 107) = 387$.

Этой формулой пользуемся для подсчета наибольшего диаметра, который оказывается в I калибре равен 387 мм. Поэтому принимаем необходимый диаметр валков $D = 400$ мм.

Здесь уместно остановиться на разъяснении значения радиусов закруглений углов ручья или притуплений угла в глубине калибра и происхождении „заката“.

При построении ряда калибров мы исходили из правила $h_1 = b_2$, т. е. не оставляли места для уширения. При рассмотрении теории деформации мы видели, что при таком построении ряда калибров условия обжатия в ромбических калибрах приближаются по своему характеру к условиям обжатия в плоских калибрах, так как величина $\frac{h_1}{h_2}$ во всех частях профиля остается постоянной; натуральные вытяжки во всех частях профиля одинаковы.

Поэтому указанное построение ряда калибров следует считать рациональным.

¹ Лучше дать небольшую вытяжку, например, $\mu = 1,1$. Тогда $Q_0^1 = 10\,000 : 1,1 = 9090$. Принимая в расчет закругления углов болванки, получим $b_0^1 = 135$ вместо $100 \cdot 1,41 = 141$ мм. Следовательно, $\frac{Q_0^1}{b_0^2} = \frac{9090}{135^2} = 0,498$. По таблице 13 находим $\frac{b}{\pi} = 1,23$. Отсюда $h_0^1 = \frac{135}{1,23} = 110$ мм, что и поставлено в последней строке таблицы 16.

Необходимо, однако, принять меры для обеспечения возможности уширения.

Рассмотрим эти меры: пусть исходной квадрат равен 100×100 мм.

Определим ширину штуки после первого пропуска, принимая $z = 0,3(H - h)$.

Диагональ исходного квадрата равна $100 \cdot \sqrt{2} = 141$ мм.

Принимая в расчет закругление углов радиусом, равным 10% от толщины болванки, имеем фактическую ширину по диагонали $h_0 - b_0 = 133$ мм.

Следовательно, вертикальное обжатие в первом пропуске $H - h = 141 - 110 = 31$ мм.

Отсюда

$$z = 0,3 \cdot 31 = 9 \text{ мм.}$$

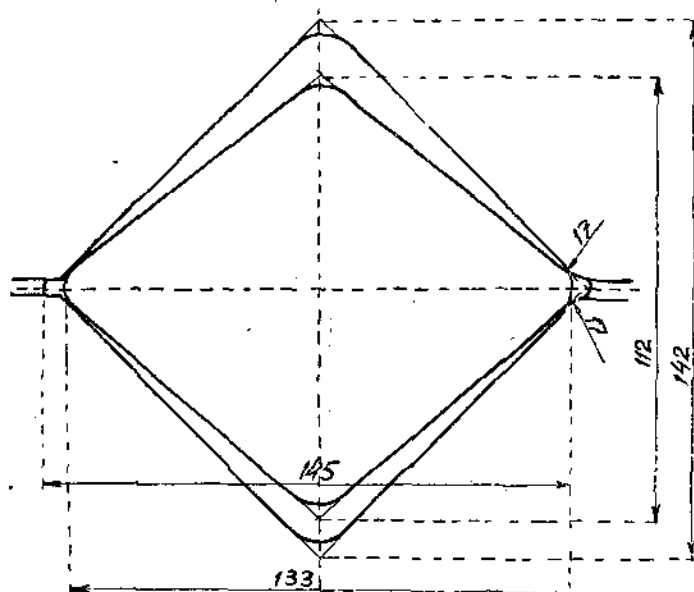
Таким образом фактическая ширина штуки после первого пропуска

$$b_1 = 133 + 9 = 142 \text{ мм.}$$

Ширина штуки равна, следовательно, горизонтальной диагонали I калибра.

$b_1 = b_0$ (без закруглений).

При пропуске штуки в калибре валки раздаются вследствие зазоров и неплотностей



Фиг. 54.

в гнездах подшипников и установочных приспособлений, для чего между ребрами калибров даются зазоры, толщина которых для обжимных станов трио находится в пределах 4—7 мм (от 0,8 до 1,5% от диаметра валков).

В случае более сильного уширения, чем предусмотрено, в зазор вытесняется металл и на штуке образуются бурты или заусенки, зарезины.

Для примера предположим, что уширение будет равно $0,4 \cdot 30 = 12$ мм. Тогда ширина $b_1 = 133 + 12 = 145$ мм и на горизонтальных углах штуки по обеим сторонам образуются заусенки шириною по 1,5 мм и толщиной, равной толщине зазора, в данном случае 4 мм, как показано на левой стороне фиг. 54.

Такую форму заусенка получила бы, если бы углы реборды не были закруглены.

Тонкая заусенка быстро остывает и при следующем пропуске вследствие меньшей пластичности, чем остальная часть штуки, вдавливается в тело ее, вызывая образование так называемого „заката“ (фиг. 55).

Под закатом разумеются неглубокие складки в виде тонких трещин, образующиеся при описаном выше вдавливании заусенок. Эти складки заполнены окалиной, препятствующей заварке их при дальнейшей прокатке. Они раскрываются при осевом давлении при испытании на осадку, а также частично при охлаждении.

Чтобы устранить образование тонких заусенок, дают углам реборд закругление. Практика рекомендует для радиусов закругления в стрельчатых и в ромбических калибрах брать

$$r = 0,2d,$$

где d — диаметр вписаного в калибр круга.

Последний равен приблизительно $\frac{h}{1,415}$, поэтому можно рекомендовать

$$r = 9,17h$$

При таком закруглении заусенка становится толще и короче, как показано на правой стороне фиг. 54.

Благодаря значительной толщине бурта заката при этом не образуется.

Чтобы уменьшить действие уширения в дальнейших пропусках, притупляют углы при вершинах в предыдущих калибрах, закругляя их радиусом около 10% от толщины штуки, или $0,085h$.

Из сказанного ясно, что в случае образования „закатов“ следует исправлять дело или увеличением радиусов закругления в углах ребер, или в вершинах ручьев, или применением обеих этих мер.

Следует однако иметь в виду, что когда от продукта прокатки требуется хорошо выраженные, непритупленные кромки ребер, надо избегать притупления углов и уменьшать радиусы закруглений у ближайших к выпускному калибров.

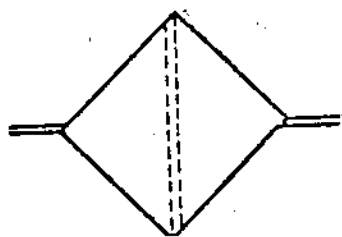
В этом случае лучше строить ряд калибров по правилу:

$$b_2 = h_1 + z_2$$

и давать точную и устойчивую установку валков.

Следует также упомянуть о боковой „игре“ валков или о боковой неточной установке их. Валки должны быть установлены так, чтобы вертикальные биссектрисы углов обоих ручьев калибра совпадали.

На фиг. 56 представлен случай несовпадения этих биссектрис при боковой игре или неточной установке.



Фиг. 56.

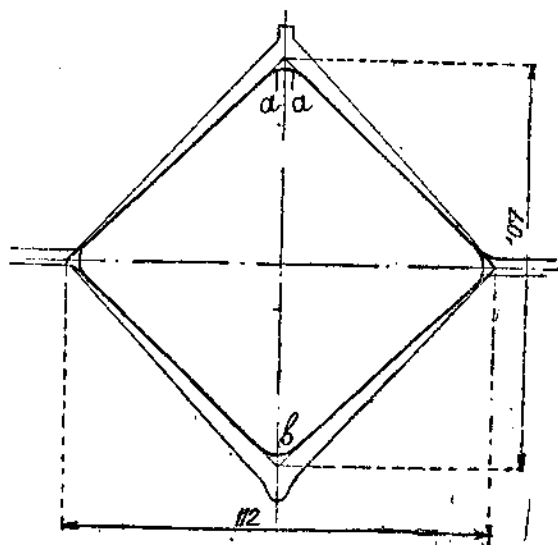
Вследствие того, что верхний валок сдвинут вправо на 2 мм относительно нижнего, в углах образовалась длинная и тонкая заусенка. В следующем пропуске эта заусенка может вызвать образование заката. Итак, и при правильной калибровке может получиться бракованный продукт, если установка валков не достаточно хороша.

При калибровке не обязательно выбирать только стрелчатые или только ромбические ручьи. Часто бывает целесообразно применять ряд смешанных калибров, включая плоские, стрелчатые, ромбические и квадратные.

Приведем еще пример калибровки в ромбических ручьях, не принимая в расчет уширения и без чередования ромба с квадратом.

Болванка 100×100 прокатывается в заготовку 50×50 .

Примем здесь, как при стрелчатых ручьях для того же случая $\frac{b}{h} = 1,12$. Будем вести расчет от последнего калибра к первому, т. е. в направлении против хода прокатки. Последний калибр должен быть квадрат.



Фиг. 55.

ным, но мы сначала определим размеры его, как ромба. Составим два уравнения:

$$b_6 = 1,12 h_6 \quad (1)$$

$$h_6 = \frac{2Q_6}{b_6} \quad (2)$$

Подставляем в последнее уравнение значение b_6 из первого и получаем

$$h_6 = \sqrt{\frac{2Q_6}{1,12}}$$

Приняв, как и при калибровке в стрелчатых ручьях $h=6$ и $\mu=1,26$, получаем уже ранее вычисленный ряд площадей каждого калибра. Таким образом, нам известно

$$Q_6 = 2500 \text{ мм}^2$$

Отсюда

$$h_6 = \sqrt{\frac{2 \cdot 2500}{1,12}} = 67 \text{ мм и}$$

$$b_6 = 67 \cdot 1,12 = 74 \text{ мм.}$$

В дальнейшем поступаем, как было указано при калибровке стрелчатых ручьев. Действие располагаем в таблице 18.

Таблица 18

№№ калибр.	Q	2Q	h	b	$\Delta - \delta$	z	h'	b	φ
VI	2500	5000	(67)71	74	14	3	71	74	16,5
V	3150	6300	74	85	20	4	71	85	20,5
IV	3968	7936	85	94	22	4	81	94	21,5
III	5000	10000	94	107	24	5	89	107	22,5
II	6299	12598	107	118	28	5	102	118	25,5
I	7936	15872	118	135	28		113	135	23,5
0	10000	20000							

Так как в последнем калибре мы должны выпустить квадрат с диагоналями 71×71 , то вместо высоты 67 мм поставим 71 и будем в этом калибре пропускать полосу дважды с поворотом на 90° . Определяем здесь диаметр валка для обеспечения $\varphi < 26^\circ$ из выведенного ранее выражения $D=10 (\Delta - 0,9\delta)$, получаем $D=387$, примем 400.

Если желаем принять в расчет уширение, то притупляем в каждом ручье угол при вершине, как показано на фиг. 53, на величину, равную половине уширения z.

Уширение определяем, например, по диаграмме фиг. 18. Результаты вычислений приведены во второй половине таблицы 19.

Приведем методический пример расчета калибровки в системе квадратов, которую удобно применять во избежание двукратного пропуска в одном калибре.

В этом случае задаемся коэффициентом вытяжки μ , от квадрата к квадрату в пределах μ от 1,5 до 2 и больше. Принимая постоянный коэффициент вытяжки для всех ручьев μ , очевидно, имеем $\mu = \sqrt[n]{\mu}$ или μ от 1,22 до 1,41 и больше.

Пусть исходная болванка 100×100 и конечный продукт 50×50 мм.

Определим число квадратов для предельных $\mu=1,5$ и 2

$$n_{\min} = \frac{\lg 10000 - \lg 2500}{\lg 2} = 2 \text{ и } n_{\max} = \frac{\lg 10000 - \lg 2500}{\lg 1,5} = 3,5.$$

Следовательно, число квадратов может быть 2 и 3.

$$\text{Отсюда } \mu_0 = \sqrt[3]{\frac{10000}{2500}} = 1,586 \text{ и } \mu = \sqrt{1,586} = 1,26.$$

Очевидно в данном случае ряд площадей квадратов при $\mu=1,26$ уже нами был однажды определен.

Сначала ведем расчет без уширения, а затем вводим притупления на уширение. Действия располагаем в таблице 19.

Таблица 19

№№ калибр.		Q	2Q	h	b	$\Delta-\delta$	z	h'	b	φ
VI	Квадрат	2500	5000	71	71	18	3	71	71	18,5
V	Ромб	3150	6300	71	89	18	4	68	89	18,5
IV	Квадрат	3980	7960	89	89	23	4	85	89	21,5
III	Ромб	5000	10000	89	112	23	5	85	112	21,5
II	Квадрат	6300	12600	112	112	29	5	107	112	25,5
I	Ромб	7940	15880	112	141	29	6	107	141	25,5
Исход	Квадрат	10000	20000	141 (135)	141 (135)			135	135	

Вычисляем диаметр валков при $\varphi=26^\circ$; $D=10(\Delta-0,9\delta)=402$, примем 420.

Вследствие того, что диагонали квадрата глубже врезаются в валки, чем диагонали ромба, валки необходимо, как видим, делать больше, чем при калибровке в ромбах.

Из рассмотрения калибровки в стрелчатых и ромбических ручьях мы видим, что чем толще болванка, тем более приходится выбирать форму ручьев, по возможности, уменьшающую глубину вреза диагоналей в валок.

Так, при данной площади калибровки наиболее глубокий врез дает квадрат, менее глубокий — ромб и еще менее глубокий — стрелчатый калибр. Все же при значительной толщине болванки и стрелчатый калибр дает слишком глубокий врез, чтобы возможно было применять валки малого диаметра. Нет нужды без надобности увеличивать диаметр валков, наоборот, часто, когда позволяет условие прочности, следует стремиться уменьшать диаметр валков, так как при этом понижаются расходы на стоимость валков, а также расходы на энергию, на ремонт (переточку) и т. д.

Поэтому очень часто при прокатке заготовки применяют смешанную калибровку, делая первые калибры прямоугольной формы на подобие ручьев блюминга.

Приведем пример подобной калибровки.

Пусть требуется прокатать болванку 142×142 в заготовку 75×75 мм. Проведем такую же в 6 пропусков, применяя коэффициент вытяжки также $\sqrt[6]{\frac{142^2}{75}} = 1,235$. Напишем ряд площадей.

Последний калибр VI сделаем квадратным, предпоследний V — ромбическим, остальные сделаем плоскими. IV калибр должен быть квадратным и в то же время плоским, т. е. с гранями, расположенными вертикально и горизонтально. Этот калибр должен дать квадратную полосу, потому что задача плоской полосы в ромбический калибр была бы неудобна. Так как Q_1 нам известна, то $b_1 = h_1 = \sqrt{Q_1}$.

Для определения элементов следующих калибров выведем формулы. Обозначим ширину и высоту какого-либо калибра (например, в данном случае IV) соответственно через b и h , вертикальное давление в нем через $\Delta-\delta$ и уширение в нем через z . Обозначим ширину и высоту предшествующего ему калибра (в данном случае III) соответственно через b_x и h_x и площадь его — Q_x , тогда можем написать, помня, что полоса перед

каждым пропуском кантуется на 90° : $Q_x = h_x \cdot b_x$. Но $h_x = b - z$. Следовательно, $Q_x = (b - z) b_x$. Отсюда $b_x = \frac{Q_x}{b - z}$.

Выбирая всякий раз величину z и имея Q_x и b , легко определить $b_x = \frac{Q_x}{b - z}$. Зная же b_x и Q_x , находим: $h_x = \frac{Q_x}{b_x}$ или $h_x = b - z$.

Не зная $\Delta - \delta$ и D , примем ориентировочно $z = 5$ во всех калибрах. Располагаем вычисление в таблице 20.

Таблица 20

№№ кал.		Q	h	b	$\Delta - \delta$	z	D_0	$\varphi(^{\circ})$
VI	Квадрат	5625	106	106	31	5	344	25
V	Ромб	6950	101	137	30	5	349	25
IV	Пл. квадрат	8580	93	93	35	5	357	22,5
III	Плоский	10600	88	120	26	5	348	22
II	"	13100	115	114	33	5	445	26
I	"	16150	109	148	33	6	439	25,5
0	Квадр. болванка	20000	142	142				

Вычисление начнем с 4-го ручья $h_4 = b_4 = \sqrt{8580} = 93$

$$b_3 = \frac{10\ 600}{93 - 5} = 120 \quad h_3 = 88$$

$$b_2 = \frac{13\ 100}{120 - 5} = 114 \quad h_2 = 115$$

$$b_1 = \frac{16\ 150}{114 - 5} = 148 \quad h_1 = 109.$$

Определим диаметр валков при $\varphi = 26^\circ$ по формуле:

$$D = 10 (\Delta - 0,9\delta).$$

Наибольшее значение получаем во 2-ом ручье $D = 445$.

Примем 450 мм. $D = 10 (148 - 0,9 \cdot 115) = 445$.

Калибры V и VI вычисляются с вертикальными диагоналями слева, принимая уширение $z = 5$ мм.

Приведем пример калибровки в чередующихся калибрах квадрат-овал.

В обжимных станах овальный калибр можно строить по правилу: толщина овала равна стороне квадрата, в который овал поступает, т. е. $h_{n-1} = c_n$.

Для определения ширины овала можно пользоваться приблизительной формулой для площади овала

$$Q = \frac{2bh}{2,85}.$$

Имея площадь овала и значение h , определяем:

$$b = \frac{2,85Q}{2h}.$$

После этих замечаний приведем в таблице 21 калибровку в системе квадрат-овал в шести пропусках для того же случая, который рассматривали для прочих видов калибров.

Уширения в расчет можно не принимать. Иногда крупные овальные калибры удобно заменять трапециодальным (фиг. 57).

Таблица 21

Форма кал.	№№ кал.	Q	c	h	b	$\Delta - \delta$	D	D ₀
кв.	VI	2500	50	71	71	18	—	349
ов.	V	3150	—	50	89	13	—	370
кв.	IV	3968	63	89	89	23	—	331
ов.	III	5000	—	63	112	16	223	357
кв.	II	6300	75	112	112	29	402	308
ов.	I	7940	—	79	141	21	289	341
Иск. кв.		10000	100	141	141		420	

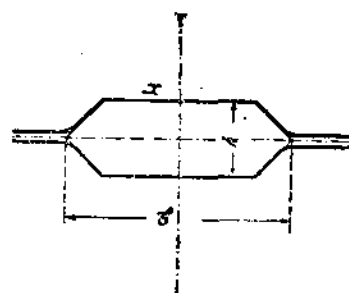
Выходящая из такого калибра штука удобно и просто превращается от свертывания при задаче в следующий калибр при помощи простых проводок.

Определение конструктивных размеров такого калибра можно производить следующим образом (фиг. 57):

Пусть известна площадь калибра Q и его h и b, определенные по предыдущему способу.

Обозначим сторону трапеции в глубине калибра через x, тогда можем написать:

$$\frac{Q}{2} = \frac{b+x}{2} \cdot \frac{h}{2}$$



Фиг. 57.

или

$$2Q = (b+x) \cdot h.$$

Отсюда

$$x = \frac{2Q - bh}{h}.$$

Приведем еще пример смешанной калибровки обжима с применением плоских, стрелчатых, квадратных и ромбических ручьев.

Болванка 100×100 прокатывается в 6 пропусках в заготовку 50×50. Коэффициент вытяжки определен был ранее $\mu = 1,26$.

Таблица 22

№№ проп.		Форма калибр.	2Q	h	b	H - h	$D = 10(H - 0,9h)$
6	2000	квадр.	5000	71	71	18	$D = 10(107 - 0,9 \cdot 79) = 359$
5	3150	ромб.	6300	71	39	18	
4	3970	квадр.	7940	89	89	14	
3	5000	стрельч.	10000	89	108	23	
2	6300	плоск.	12600	79	79	23	
1	7940	плоск.	15880	74	107	26	
0	10000	—	20000	100	100		$D = 10(100 - 0,9 \cdot 74) = 340$

Вычисление элементов (таблица 22)

VI калибр $h_{кв} = 1,415$ и $Q = b_{кв} = 1,415 \sqrt{2500} = 71$

V калибр $h_p = b_{кв} = 71$

$$b_p = \frac{2Q}{h_p} = \frac{6300}{71} = 89$$

IV калибр $h_{кв} = b_{кв} = b_p = 89$

III калибр $h_c = b_{кв} = 89$

$$\sqrt{\frac{5000}{89^2}} = 0,632 \frac{b}{h} = 1,155$$

$$b_c = 1,155 \cdot 89 = 103$$

II калибр. Плоский, квадратный

$$h_{кв} = \sqrt{Q_{кв}} = b_{кв} = \sqrt{6300} = 79$$

I калибр плоский, прямоугольный из выражения

$$b_x \cdot h_x = Q_{пл}$$

или $h_x = b_{кв} - z$; принимаем $z \approx 5$ мм.

Отсюда

$$b_x = \frac{Q_{пл}}{b_{кв} - z} = \frac{7940}{79 - 5} = 107.$$

$$h_x \approx 79 - 5 = 74 \text{ или } h_x = \frac{7940}{107} = 74.$$

Для сравнительной оценки выбора формы ручьев сделаем сводку минимальных диаметров валков, необходимых при применении разной формы калибров, определенных выше:

Калибровка	Диаметр валков
В стрельчатых ручьях	387
В ромбических "	387
В системе ромб-квадрат	420
В смешанных ручьях	360
В системе квадрат-овал	402

Очевидно, применение первых плоских и затем стрельчатых, ромбических и квадратных ручьев требует наименьшего диаметра валков и, следовательно, при данном диаметре валков калибровка в них дает наименьшее число пропусков или наименьшие углы захвата.

Последнее дает возможность применять большие скорости прокатки. Приведем еще пример калибровки обжимного стана трио ($D=500$, $n=100$ об/м.) в условиях Сталинского завода и сравним сделанную калибровку с калибровкой завода.

На этом примере будет ясен метод расчета. Определим при $\varphi=29^\circ$ максимальный размер исходной болванки.

$$H = 0,33 D + 0,66 D(1 - \cos 29^\circ)$$

$$H = 0,33 \cdot 500 + 0,66 \cdot 500 \cdot 0,1254 = 207 \text{ мм.}$$

При этом максимальное обжатие равно

$$H - h = 0,66 \cdot 500 \cdot 0,1254 = 41 \text{ мм.}$$

$$\text{Максимальный коэффициент вытяжки } \mu = \frac{207}{207 - 41} = 1,245.$$

Ввиду того, что при $n=100$ об/м ($v=2,6$ м/с) угол $\varphi=29^\circ$ слишком высок и не обеспечивает надежного захвата, примем за максимальный размер исходной болванки 180×180 мм.

Конечное сечение заготовки 40×40 мм $Q=32400$ мм² и $Q_{нл}=1600$ мм². Так как для сечений выше 10000 мм² стрельчатые и ромбические калибры дают слишком глубокий врез в валки, то до сечения 10000 мм² будем вести прокатку в плоских калибрах. В дальнейшем—в системе квадрат-овал.

Примем в первой группе калибров коэффициент $\mu=1,2$ и во второй $\mu=1,4$, т. е. от квадрата к квадрату $\mu=2$.

Определим число пропусков с меньшим и с большим коэффициентом μ .

$$1\text{-ая группа } n = \frac{\lg 32\,400 - \lg 10\,000}{\lg 1,2} = \frac{4,010055 - 4,0}{0,07918} = 6,5; \text{ примем } n = 7 \text{ пропусков.}$$

$$2\text{-ая группа } n = \frac{\lg 10\,000 - \lg 1600}{\lg 1,4} = \frac{4,0 - 3,20412}{0,14613} = 5,5 \text{ примем } n = 6 \text{ пропусков.}$$

Всего число пропусков — 13. Найдем окончательно μ .

Для 1-ой группы

$$\mu = \sqrt[7]{\frac{32\,400}{10\,000}} = 1,18.$$

Для 2-ой группы

$$\mu = \sqrt[6]{\frac{10\,000}{1600}} = 1,36.$$

Вычисление располагаем в таблице 23.

Плоские калибры попарно располагаются друг над другом, имея одинаковую ширину b_n .

Для каждой пары связанных калибров определяем b_n из выражения

$$b_n = h_{n-2} + z.$$

Уширение z находим из выражения:

$$z = k(H - h) \text{ (по фиг. 18).}$$

Принимаем для первых калибров $H - h$ близким к максимальному $\sim 40 - 35$ мм. Так как $h = 150$, то принимаем $k = 0,15$.

Поэтому в I калибре $z = 0,15 \cdot 35 = 5$ мм. Во II калибре, где сжатие должно быть меньше, примем $z = 4$. Итак $\Sigma z = 9$ мм. Следовательно, ширина I и II калибра должна быть равна

$$B_{1,2} = 180 + 9 = 189.$$

Ширина же выходящих из калибров штук:

$$b_1 = 180 + 5 = 185$$

$$b_2 = 185 + 4 = 189.$$

Высота калибров и штук:

$$h_1 = \frac{2700}{185} = 146$$

$$h_2 = \frac{22\,900}{189} = 121 \text{ (см. таблицу 23).}$$

В следующей паре плоских калибров (III и IV) принимаем уширение также 5 и 4 мм.

Ширина этой пары калибров

$$B_{3,4} = 121 + 9 = 130 \text{ мм.}$$

Ширина выходящих из калибров штук:

$$b_3 = 121 + 5 = 126,$$

$$b_4 = 126 + 4 = 130.$$

Высота калибров и штук:

$$h_3 = \frac{19\,400}{126} = 154,$$

$$h_4 = \frac{16\,400}{130} = 126.$$

Таблица 23

№ калибр.	Форма калибр.	Q	b	h	H-h	z	Калибры		Калибры Сталинского завода		D ₀	φ (в град.)
							B	H	B	H		
0	Квад.	10000·1,18 ⁷ = 32400	180	180	—	—	—	—	180	180	—	—
I	Плос.	10000·1,18 ⁶ = 27000	183	146	34	5	189	146	188	147	354	25
II	"	10000·1,18 ⁵ = 22900	189	121	25	4	189	121	188	123	379	21
III	"	10000·1,18 ⁴ = 19400	126	134	35	5	130	154	129	150	346	26
IV	"	10000·1,18 ³ = 16400	130	126	28	4	130	126	129	125	374	22
V	"	10000·1,18 ² = 13900	131	106	24	5	135	106	132	100	394	20
VI	"	10000·1,18 = 11800	135	87	19	4	135	87	132	78	413	18
VII	"	1600·1,36 ⁶ = 10000	92	109	26	5	98	109	84	103	391	21
VIII	"	1600·1,36 ⁵ = 7440	98	76	33	6	98	76	—	—	424	23
IX	Овал.	1600·1,36 ⁴ = 5465	124	64	12	26	124	64	124	67	436	14
X	Квад.	1600·1,36 ³ = 4020	90	90	34	26	90	90	93	93	410	23,5
		сторона кв.	(61)	(64)					(66)	(66)		
XI	Овал.	1600·1,36 ² = 2955	90	45	19	26	90	45	87	45	455	47
XII	Ромб.	1600·1,36 = 2175	76	57	33	31	76	57	57	57	433	22,5
XIII	Квад.	1600 = 1600	57	57	19	—	57	57	57	57	433	17
		сторона кв.	(40)	(40)								

В третьей паре плоских калибров (V и VI) принимаем уширение также 5 и 4 мм. Получаем:

$$b_5 = h_4 + z_4 = 126 + 5 = 131 \text{ и}$$

$$h_5 = \frac{13900}{131} = 106$$

$$b_6 = h_4 + 2z = 126 + 9 = 135 \text{ и}$$

$$h_6 = \frac{11800}{135} = 87.$$

Ширина этой пары калибров $B_{5,6} = 135$.

В четвертой паре калибров (VII и VIII) примем уширение 5 и 6 мм в виду того, что высота калибра меньше 100 и, следовательно, $k \approx 0,2$. Получаем:

$$b_7 = h_6 + z_6 = 87 + 5 = 92 \text{ и}$$

$$h_7 = \frac{10000}{92} = 109$$

$$b_8 = 92 + 6 = 98 \text{ и}$$

$$h_8 = \frac{7440}{98} = 76.$$

Ширина этой пары калибров

$$B_{7,8} = 98 \text{ мм.}$$

В остальных калибрах стороны квадратов определяются из площадей их

$$c_{10} = \sqrt{4020} = 64$$

$$c_{13} = \sqrt{1600} = 40.$$

Их диагонали:

$$b_{10} = h_{10} = 64 - 1,415 = 90,$$

$$b_{13} = h_{13} = 40 - 1,415 = 57.$$

Высота овалов берется равной стороне квадрата, в который поступает овал, при чем

$$b_{os} \cong 2 h_{os}.$$

Площадь овала $Q_{os} = \frac{2 b_{os} h_{os}}{2,85}$, поэтому

$$h_9 = 64 \text{ и } b_9 = \frac{2,85 \cdot 5465}{2,64} = 124,$$

$$h_{11} = 45 \text{ и } b_{11} = \frac{2,85 \cdot 2955}{2,45} = 90.$$

Размеры ромба определяются из условия, что высота ромба равна ширине квадрата, в который он поступает

$$h_{12} = b_{12} = 57 \text{ и } b_{12} = \frac{2,2175}{57} = 76.$$

Из сравнения вычисленной калибровки с применяемой на Сталинском заводе видно, что обе калибровки весьма сходны и практическая отличается меньшей равномерностью вытяжки и кроме того проводится в 12 вместо 13 пропусков.

Однако фактически дается 13 пропусков, чтобы передать штуку на заднюю сторону стана. Следует заметить, что при 100 об/мин, т. е. скорости прокатки 2,6 м/сек, угол $\varphi = 26^\circ$ в третьем пропуске является предельным при насыщенных калибрах и могут быть задержки в плохом захвате болванки в III калибре.

ГЛАВА II

РАЗМЕЩЕНИЕ КАЛИБРОВ В СТАНАХ ДУО И ТРИО

Выше было упомянуто, что обжимные станы, о которых идет речь, являются, по преимуществу, станами трио.

Было бы очень выгодно так калибровать ручьи в стане трио, чтобы вырезы среднего вала служили для калибров как нижнего, так и верхнего вала. Если бы расположенные в валах трио друг над другом калибры были тождественными, то вопрос не представлял бы затруднений, но дублирование калибров друг над другом совершенно бесполезно; необходимо делать их различными.

В калибровке ромбов в валах трио поступают таким образом, что каждый калибр среднего вала соответствует только или калибру нижнего или калибру верхнего вала, вследствие чего под каждым верхним рабочим калибром и над каждым нижним рабочим калибром получается так называемый холостой или пустой калибр, представляющий собой непредназначенное для работы углубление между соседними ребрами.

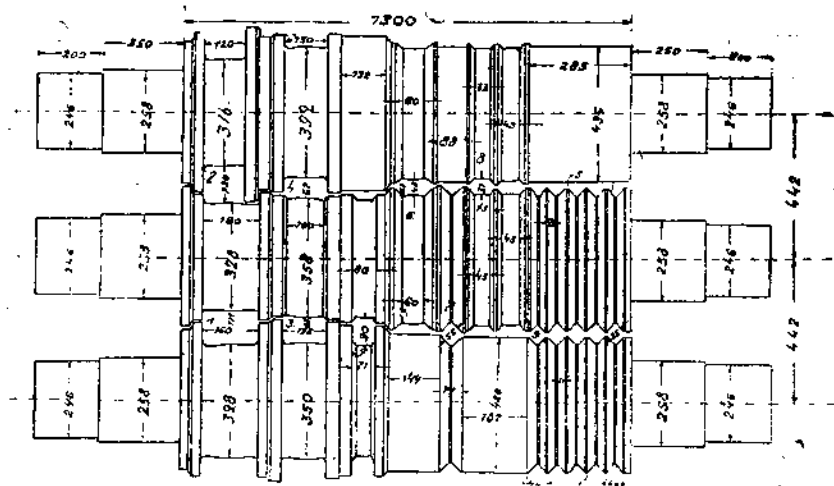
Такое устройство калибров представляет тот недостаток, что при этом утилизация валков менее совершенна. Для одного и того же числа калибров требуется вдвое большее число валков.

Выше было упомянуто, что в обжимных валах применяются, кроме стрельчатых и ромбических ручьев, также *плоские ручьи*. Мы уже познакомились с формой этих ручьев при рассмотрении ручьев блюминга. Теперь мы рассмотрим их конструкцию для рационального использования валков трио.

Плоские ручьи предшествуют стрельчатым или ромбическим, когда диаметр вала уже не позволяет применять последние. Иногда после плоских ручьев следуют чередующиеся ручьи, овальные и квадратные, способствующие в своем чередовании, как было выяснено выше, быстрой

вытяжке. На фиг. 58 представлено расположение плоских овальных и квадратных ручьев в обжимном стане трио. Калибры I, II, III и IV (фиг. 58) представляют образец того, как могут быть использованы вырезы среднего валка для проектирования лежащих на одной вертикали калибров. Ручьи системы квадрат-овал не дают возможности использовать вырезы среднего валка для обоих калибров, поэтому они, как видно из фиг. 58, располагаются в шахматном порядке. Валки заключаются рядом тождественных квадратных калибров, являющихся выпускными для стана, а потому, как требующие сохранения строгих размеров, представлены на случай выработки их в нескольких экземплярах. Часто здесь ставят несколько ромбов в шахматном порядке, чтобы можно было выпускать

№ пр.	Размеры
1	169×114
2	126×120
3	126×88
4	130×67
5	71×90
6	111×(49—53)
7	55×55
8	76×31
9	35×3



Фиг. 58.

несколько размеров. Калибровка обжимных станов, описанная выше, применима в одинаковой мере к обжимным станам дуо с постоянным направлением валков, например, непрерывным, зигзагообразным и др.

Следует сказать несколько слов о положении калибров в валках.

Средним диаметром стана D_m будем называть расстояние между осями соседней пары валков.

Горизонтальную линию, делящую это расстояние пополам, будем называть *средней линией валков АВ* (фиг. 59).

Горизонтальную линию, проходящую через нейтральную линию калибра, будем называть *линией прокатки CD* (фиг. 59).

Расстояние линии прокатки от оси валков определяет собою *радиусы верхнего (R_v) и нижнего (R_n) валков*, а следовательно и их диаметры D_v и D_n (фиг. 58).

В частном случае линия прокатки может совпадать с средней линией валков. В этом случае $R_v = R_n$ и $D_v = D_n$.

Вообще же линия прокатки не совпадает с средней линией валков, помещаясь или выше или ниже последней на несколько миллиметров.

При этом, очевидно, R_v не равно R_n и D_v не равно D_n .

Если $D_v > D_n$, то при одинаковом числе оборотов обоих валков верхний валок будет иметь большую окружную скорость, чем нижний и, следовательно, будет быстрее тянуть металл вперед, чем нижний валок. Если мы желаем представить себе действие разницы указанных скоростей, то должны представить себе дело так, что нижний валок неподвижен, а верхний имеет поверхностную скорость, равную разнице действительных скоростей, т. е. иметь в виду лишь относительную скорость верхнего валка по отношению к скорости нижнего валка.

В таком случае действие прокатки в части влияния этой относительной скорости вполне аналогично действию скалки, аскалывающей тесто по неподвижной доске. Верхний валок производит на металл давление, направленное назад, и заставляющее его скользить по поверхности нижнего валка так же, как скользит тесто по поверхности стола, посыпанного мукой. Указанное движение возбуждается повышенным давлением, производимым скалкой или здесь верхним валком, и имеет своим результатом растягивающее действие на нижней поверхности металла или теста, что и сказывается в разрыве теста на столе, на посыпанном мукой, или на негладкой, заедающей поверхности нижнего валка может сказаться в разрыве металла на нижней поверхности его.¹ Такое действие может производить насечка на поверхности валков, в особенности в тех случаях, когда металл плохо раскислен, содержит много серы или вообще недостаточно однороден и склонен к образованию рвани и трещин. К тому же результату мы приходим, рассматривая не относительные, а абсолютные скорости валков.

В единицу времени верхний валок, а следовательно и примыкающий к нему металл, совершают больший путь, чем нижний валок с примыкающим к нему металлом. Поэтому верхние волокна полосы после прокатки должны иметь большую длину, чем нижние, и полоса имеет стремление загнуться книзу.

Поэтому действие большого размера верхнего валка называют „верхним давлением“. В случае, если диаметр нижнего валка больше диаметра верхнего $D_n > D_v$, полоса получает стремление изогнуться кверху и имеет место „нижнее давление“. Мерой верхнего или нижнего давления является разность диаметров валков.

На фиг. 58 калибр I имеет $610 - 600 = 10$ мм верхнего давления, а калибр II имеет $610 - 600 = 10$ мм нижнего давления.

Проф. Тафель принимает за меру верхнего и нижнего давления разность рабочих диаметров валков, что для плоских ручьев не составляет разницы.

Будем обозначать верхнее давление через $\pm m$.

Тогда имеем:

$$D_v - D_n = \pm m.$$

Если известен средний диаметр валков D_m ² и „верхнее давление“³ m , то D_v и D_n находятся из следующих отношений:

$$D_v = D_m + 2x \quad (1)$$

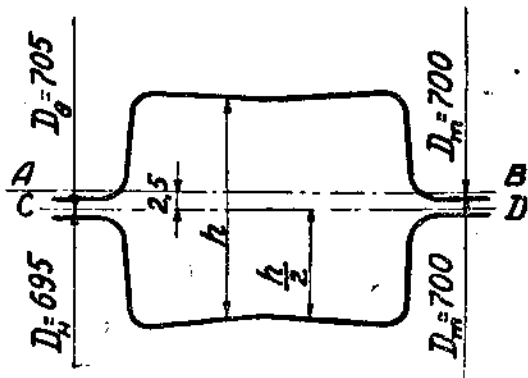
$$D_n = D_m - 2x, \quad (2)$$

где x — расстояние между средней линией валков и линией прокатки.

¹ Точно также здесь происходит сильное трение, повышающее расход энергии при прокатке.

² Т. е. расстояние между осями валков OO и OO (фиг. 58).

³ Все сказанное ниже о верхнем давлении одинаково приложимо и к нижнему давлению. Как было установлено выше, будем различать понятия калибр и ручей. Под ручьем будем разуметь вырез в одном валке, под калибром будем разуметь совокупность двух ручьев (верхнего и нижнего), расположенных друг над другом в паре валков вместе с зазором между валками.



Фиг. 59.

Вычитая нижнее равенство из верхнего, получаем:

$$m = D_s - D_n = 4x \text{ или } x = \frac{m}{4}.$$

Отсюда при верхнем давлении, равном m имеем по (1) формуле:

$$D_s = D_m + \frac{m}{2} \text{ и } D_n = D_m - \frac{m}{2}.$$

Действительно, вычитая, имеем $D_s - D_n = m$.

Рабочие диаметры валков

D_{0s} и D_{0n} меньше D_s и D_n на величину двойной теоретической глубины ручья $2h_s$ и $2h_n$.

$$D_{0s} = D_s - 2h_s \text{ и } D_{0n} = D_n - 2h_n$$

При этом $h_s + h_n = \delta$, где δ — высота калибра или толщина выходящей из него полосы.



Фиг. 60.

Под теоретической глубиной ручья (h) разумеется глубина дна ручья от линии прокатки. Фактическая глубина ручья определяется глубиной ручьевого выреза в теле вала или высотой реборд (a).

Если калибр представляет собою фигуру, центр тяжести которой помещается на пересечении осей симметрии его, как, например, в квадрате, ромбе, прямоугольнике или круге, то линия прокатки проходит через центр тяжести калибра (верхнего и нижнего ручья), находящийся на одинаковом расстоянии от линии прокатки. В этом случае $h_s = h_n$, ручьи нижнего и верхнего валков совершенно тождественны, если реборды их имеют одинаковую высоту: $a_s = a_n$ (фиг. 59).

При $h_s = h_n$ и $a_s = a_n$ теоретическая глубина ручьев равна действительной плюс (половина зазора) $\frac{S}{2}$.

Независимо от того, имеет или не имеет место равенство $h_s = h_n$, высота реборд (a) может быть одинакова или неодинакова.

Реборды одного ручья при этом могут быть равны нулю (фиг. 60) или быть отрицательными (фиг. 84).

Рассмотрим теперь правила вычерчивания калибров и ручьев в валках. Вычерчивание калибров должно производиться в следующем порядке:

а) при заданиях D_m , δ и m прежде всего наносится средняя линия валков АВ (фиг. 59);

б) затем наносится линия прокатки CD в расстоянии $\frac{1}{4}m$ от линии АВ. При этом надо помнить, что для разных ручьев m может быть разное даже в одном и том же стане.

в) находится нейтральная линия калибра, которая совмещается с линией прокатки, и в отношении к ней строится калибр;

г) на основании сделанного определяются рабочие диаметры верхнего и нижнего валков D_{0s} и D_{0n} и делается проверка равенства

$$\frac{D_{0s}}{2} + \delta + \frac{D_{0n}}{2} = D_m;$$

д) наносятся реборды, т. е. фактическая глубина ручьев.

Пример (фиг. 59).

1. Пусть дано $D_m = 700$; $h = 120$ мм и $m = +10$ мм.

Наносим линию прокатки CD ниже AB на $\frac{10}{4}=2,5$ мм.

Нейтральная линия совпадает с центром тяжести прямоугольного калибра в точке O и с линией прокатки CD .

Наносим:

$$D_s = D_m + \frac{10}{2} = 705;$$

$$R_s = 352,5 \text{ и } D_n = D_m - \frac{10}{2} = 700 - \frac{10}{2} = 695; R_n = 347,5.$$

Наносим положение осей верхнего и нижнего валков R_s и R_n .

Вычерчиваем реборды, выбирая зазор $S=10$ мм.

Находим D_0 верх. $= D_s - h = 705 - 120 = 585$

$$D_0 \text{ нижн.} = D_n - h = 695 - 120 = 575.$$

2. Дано D_0 верх. $= 605$ мм

$$D_0 \text{ нижн.} = 595 \text{ мм } h = 100.$$

Определяем m, D_s, D_n, D_m ; $m = 605 - 595 = 10$ мм

$$D_s = D_0 \text{ верх.} + h = 605 + 100 = 705$$

$$D_n = D_0 \text{ нижн.} + h = 595 + 100 = 695$$

$$D_m = (D_0 \text{ верх.} + D_0 \text{ нижн.}) \frac{1}{2} + h = \frac{605 + 595}{2} + 100 = 700$$

или

$$\frac{D_s + D_n}{2} = \frac{705 + 695}{2} = 700.$$

Для проверки правильности чертежа (фиг. 59) можно пользоваться следующими зависимостями:

$$D_m = \frac{D_{0s}}{2} + \frac{D_{0n}}{2} + h$$

$$D_m = \frac{D_s}{2} + \frac{D_n}{2}$$

$$D_m = R_1 + R_2 + S.$$

Вычерчивание валков трио должно удовлетворять следующим условиям. Наносятся диаметры валков D_s, D_c и D_n , определяющие положение линий прокатки (фиг. 61) и величину верхнего (нижнего) давления, если действующие калибры располагаются в шахматном порядке (например, h_1, h_3), т. е. вертикально расположенные калибры не связаны друг с другом и тождественны. Если же расположенные друг над другом калибры используются, как действующие, т. е. связанные (например, h_3 и h_4), то центр тяжести одного из этих двух калибров не может совпасть с намеченной линией прокатки.

Проверка чертежа должна удовлетворять следующим соотношениям:

$$\frac{d_s}{2} + \frac{d_c}{2} + h_3 = xy = D_1 \quad (a)$$

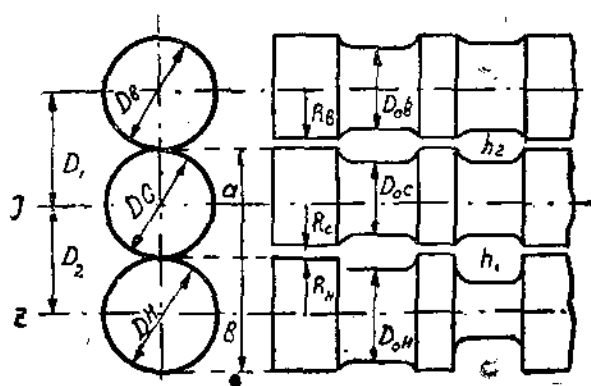
$$\frac{d_c}{2} + \frac{d_n}{2} + h_4 = yz = D_2 \quad (б)$$

$$R_s + R_c + S = \frac{D_s + D_c}{2} = D_1 \quad (в)$$

$$R_c + R_n + S = \frac{D_c + D_n}{2} = D_2. \quad (г)$$

Обычно в станах трио с несвязанными калибрами верхний валок по отношению к среднему имеет верхнее давление, которое обозначим через m , и средний по отношению к нижнему также имеет верхнее давление той же величины m , а иногда иной величины — n .

Обозначим для верхней пары валков средний диаметр через $\frac{D_s + D_c}{2} = D_m$.



Фиг. 61.

а для нижней пары — через $\frac{D_c + D_n}{2} = D_n$, тогда диаметры верхнего, среднего и нижнего валков выразятся следующим образом:

$$D_s = D_1 + \frac{m}{2} \quad (1)$$

$$D_c = D_1 - \frac{m}{2} \quad (2)$$

$$D_n = D_2 - \frac{m}{2} \text{ или } D_2 - \frac{n}{2}. \quad (3)$$

Обозначив рабочие диаметры соответственно через d_s , d_c и d_n , можем написать для каждого вертикального ряда тождественных калибров следующие выражения:

$$\begin{array}{ll} d_s = D_s - h_1 & d_s = D_s - h_2 \\ \text{1-ый ряд: } d_c = D_c - h_1 & \text{2-ой ряд: } d_c = D_c - h_2 \\ d_n = D_n - h_1 & d_n = D_n - h_2. \end{array}$$

Иначе обстоит дело в том случае, когда вертикально расположенные калибры не тождественны, но являются действующими и, следовательно, по конструкции связанными друг с другом.

Расположение действующих калибров друг над другом (связанные калибры) выгоднее с точки зрения использования полотна валков, но неизбежно влечет за собой большие неправомерности в отношении верхнего (нижнего) давления в калибрах и, следовательно, может вызывать значительные напряжения при чрезмерных давлениях.

Сделаем определение верхнего давления в сопряженных калибрах стана трио

$$490/500/510 \quad D_n = 490, \quad D_c = 500, \quad D_s = 510.$$

Рассмотрим случай проделанной выше калибровки $180 \times 180 \rightarrow 40 \times 40$.

Будем вести расчет в общем виде и на примере. В установке валков основным является расстояние между осями валков D_n и D_m . Расстояние между осями нижнего и среднего валков:

$$D_n = \frac{490 + 500}{2} = 495 \text{ (фиг. 62).}$$

Расстояние между осями среднего и верхнего валков:

$$D_m = \frac{500 + 510}{2} = 505.$$

Соответствующие средние радиусы:

$$\begin{array}{l} R_n = 247,5 \\ R_m = 252,5. \end{array}$$

Эти радиусы определяют положение средних линий валков (CD), т. е. линий, отвечающих одинаковым скоростям на паре валков.

Выберем в нижнем калибре (I) верхнее давление $m=10$ мм.

Линия прокатки, т. е. центр тяжести калибра, помещается ниже средней линии валков на

$$X = \frac{10}{4} = 2,5 \text{ мм.}$$

Отсюда радиус нижнего валка:

$$R_n = R_n - X = 247,5 - 2,5 = 245,$$

$$R_c = R_n - X = 247,5 + 2,5 = 250.$$

Катающий радиус нижнего валка:

$$R_{n0} = R_n - \frac{h_1}{2} = 245 - 73 = 172.$$

Катающий радиус среднего валка:

$$R_{c0} = R_c - \frac{h_1}{2} = 250 - 73 = 177.$$

Проверка

$$m = 2(h_c - R_n) = 2(250 - 245) = 10$$

$$m = 2(R_{c0} + R_{n0}) = 2(177 - 172) = 10$$

$$D_n = R_{n0} + h_1 + R_{c0} = 172 + 146 + 177 = 495.$$

В верхнем калибре верхнее давление определяется положением центра тяжести калибра, обусловливаемым уже готовым ручьем среднего валка.

$$R_c = P_c + \frac{h_2}{2} = 177 + 60,5 = 237,5$$

$$R_s = D_m + R_c = 505 - 237,5 = 267,5.$$

Отсюда

$$m = 2(R_s - R_c) = 2(267,5 - 237,5) = 60 \text{ мм}$$

или

$$R_s = R_m + X.$$

Откуда

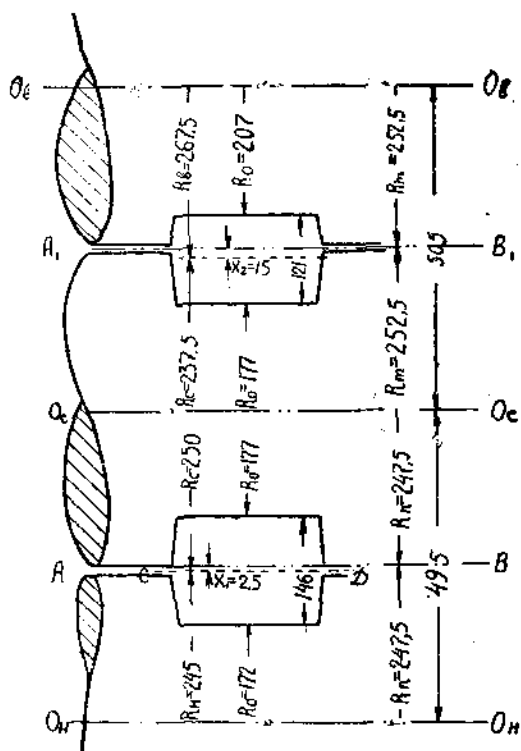
$$X = R_s - R_m = 267,5 - 252,5 = 15 \text{ мм}$$

$$m = 4 \cdot 15 = 60 \text{ мм}$$

Итак, во II калибре верхнее давление равно 60 мм, в то время как в I калибре 10 мм.

При данной установке валков, т. е. $D_m=505$ и $D_n=495$ изменить верхнее давление в верхнем (II) калибре можно только за счет изменения верхнего давления в нижнем (I) калибре, так как положение средних линий валков не изменяется.

Насколько увеличим верхнее давление в нижнем калибре, настолько уменьшится верхнее давление в верхнем калибре, так как насколько



Фиг. 62.

миллиметров понизим центр тяжести калибра, настолько повысится центр тяжести II (верхнего) калибра.

Перемещение центра тяжести калибров изменяет X_1 и X_2 (фиг. 62), но сумма X_1 и X_2 остается постоянной,

$$X_1 + X_2 = \text{const.}$$

В данном случае

$$X_1 + X_2 = 2,5 + 15 = 17,5.$$

Очевидно, если поместить центр тяжести I калибра ниже средней линии валков на $\frac{17,5}{2} = 8,75$ мм $= X_1$, то $X_2 = 8,75$ мм тоже.

Следовательно, верхнее давление в общих калибрах будет одинаково и равно $m = 4 \cdot 8,75 = 35$ мм. Действительно для первого калибра:

$$R_{c_0} = 177 + (8,75 - 2,5) = 183,25$$

$$R_{n_0} = 172 - (8,75 - 2,5) = 165,75.$$

Отсюда

$$m = 2(183,25 - 165,75) = 35 \text{ мм.}$$

Для II калибра:

$$R_{c_0} = 207 - (8,75 - 2,5) = 200,75$$

$$R_{c_0} = 177 + (8,75 - 2,5) = 183,25.$$

Отсюда

$$m = 2(200,75 - 183,25) = 35 \text{ мм.}$$

Выведем формулу для определения верхнего давления в сопряженных калибрах стана трио в зависимости от разности высот калибров $\Delta H = a$. При условии одинаковой разности диаметров:

$$D_s - D_c = D_c - D_n.$$

Если

$$h_1 = h_2, \text{ то } X_1 = X_2 \text{ и } m_1 = m_2.$$

Пусть

$$h_1 - h_2 = a, \text{ тогда}$$

$$X_2 = X_1 + \frac{a}{2}, \quad (1)$$

так как при этом центр тяжести смещается на

$$\frac{h_1}{2} - \frac{h_2}{2} = \frac{h_1 - h_2}{2} = \frac{a}{2}.$$

Итак, выбирая X_1 или $m = 4X_1$, находим по (1) X_2 или $m_2 = 4X_2$.

Найдем m_1 и m_2 для всех сопряженных калибров рассматриваемого стана (таблица 24).

Таблица 24

№№ кал.	m_1	X_1	a	X_2	m_2	Выравненный	
						m	X
I	10	2,5	—	—	—	35	8,75
II	"	"	25	15	60	35	8,75
III	"	"	—	—	—	37	9,25
IV	"	"	28	16,5	64	37	9,25
V	"	"	—	—	—	29	7,25
VI	"	"	10	12	48	29	7,25
VII	"	"	—	—	—	43	10,75
VIII	"	"	33	19	76	43	10,75

Калибровка станом трио в сопряженных калибрах всегда сопровождается высоким верхним давлением в калибрах. Равномерное распределение верхнего давления между верхним и нижним калибром приводит к наименьшим значениям, к чему следует стремиться для уменьшения напряжения в металле и трения металла о стенки калибров.

Что касается несвязанных калибров, то верхнее давление в них может быть выбираемо по призову.

Можно, например, принять во всех этих калибрах в данном стане $m=10$ мм. Следовательно, линия прокатки для всех калибров пройдет ниже средней линии валков на $X=2,5$ мм.

Величиной X следует пользоваться для установки проводок.

Для примера найдем верхнее давление в калибрах трио (фиг. 58). На этом чертеже имеем $D_m=442$ и $D_n=442$.

Проверим правильность чертежа для первых четырех калибров, связанных друг с другом в вертикальных рядах.

Первый вертикальный ряд: $d_a=316$, $d_c=328$, $h_1=114$, $h_2=120$.

По соотношению (а) и (б) имеем тождества: $d_n=332$,

$$\frac{d_a}{2} + \frac{d_c}{2} + h_2 = xy; \quad \frac{316}{2} + \frac{328}{2} + 120 = 442$$

$$\frac{d_c}{2} + \frac{d_n}{2} + h_1 = yz; \quad \frac{328}{2} + \frac{332}{2} + 114 = 442.$$

Следовательно, чертеж первого ряда верен.

Второй вертикальный ряд также дает тождество.

$$\frac{392}{2} + \frac{358}{2} + 67 = 442$$

$$\frac{350}{2} + \frac{358}{2} + 88 = 442.$$

Следовательно, и второй вертикальный ряд вычерчен верно. Определим давление для верхних и нижних калибров этих рядов. По Тафелю имеем для I ряда:

$$m=316-328=-8, \text{ т. е. нижнее давление}$$

$$n=328-332=-4, \text{ т. е. нижнее давление}$$

для 2-го ряда:

$$m=392-358=+34, \text{ т. е. большое верхнее давление}$$

$$n=358-350=+8, \text{ т. е. нормальное верхнее давление. [$$

Определим давления иным способом;

Линии прокатки проходят через центры тяжести калибров, т. е. через середины их высот. Поэтому, для I калибра:

$$D_c = d_c + h_1 = 328 + 114 = 442$$

$$D_n = d_n + h_1 = 332 + 114 = 446$$

$$n = 442 - 446 = -4 \text{ мм нижн. давл.}$$

Для II калибра имеем:

$$D_a = 316 + 120 = 436$$

$$D_c = 328 + 120 = 448.$$

Отсюда $m = 436 - 448 = -12$ мм ниж. давл.

Для III калибра имеем:

$$D_c = 358 + 88 = 446$$

$$D_n = 350 + 88 = 438.$$

Отсюда $n = 446 - 438 = 8$ мм верхн. давл.

Для IV калибра имеем:

$$D_a = 392 + 67 = 459$$

$$D_c = 358 + 67 = 425.$$

Отсюда $m = 459 - 425 = 34$ мм верхн. давл.

Этот пример показывает, как неравномерно распределяется давление в связанных калибрах.

В том же чертеже в несвязанных калибрах (V—IX) можно выдержать произвольное давление. Например, выберем всюду верхнее давление, равное 4 мм. Тогда имеем:

в V калибре:

$$D_c = D_m + \frac{m}{2} = 442 + 2 = 444$$

$$D_n = D_m - \frac{m}{2} = 442 - 2 = 440$$

и

$$d_c = D_c - h_b = 444 - 90 = 354$$

$$d_n = D_n - h_b = 440 - 90 = 350;$$

в VI калибре:

$$D_a = D_m + \frac{m}{2} = 442 + 2 = 444$$

$$D_c = D_m - \frac{m}{2} = 442 - 2 = 440$$

$$d_a = D_a - h_b = 444 - 46 = 398$$

$$d_c = D_c - h_b = 440 - 46 = 394 \text{ и т. д.}$$

ГЛАВА III

Калибровка непрерывных станов

Одной из основных задач прокатного дела во второй пятилетке является овладение конструированием и эксплуатацией непрерывных станов—новинки в практике наших конструкторов, инженеров, техников и рабочих. Необходимо освободиться от иностранной зависимости и в этой области, а это обязывает нас к изучению теории непрерывных станов.

Особый интерес представляет для нас установление связи калибровки валков непрерывного стана с числом оборотов и диаметром валков их.

Непрерывные станы могут быть разбиты на два основных класса:

а) станы с жесткой кинематической связью валков отдельных клеток, обслуживаемых одним общим мотором, в частности именно такие, в которых прокатываемая штука находится одновременно в нескольких клетях; б) все прочие станы непрерывной прокатки, т. е. станы, в которых штука или не находится одновременно в нескольких клетях, или, если и находится, то число оборотов валков каждой клетки регулируется путем установки индивидуальных регулируемых моторов при каждой клетке.

Первый класс станов требует установления точной зависимости калибровки от числа оборотов и катающего диаметра валков каждой клетки.

Второй класс станов позволяет ограничиться приближенной зависимостью отмеченных выше факторов. Если штука находится в нескольких клетях с регулируемым числом оборотов валков, то образование петель или растяжение штуки между клетями уничтожается соответствующим

регулированием числа оборотов валков. Если же штука не находится одновременно в нескольких клетях, то образования петель или растяжений вовсе нет и следовательно определение скоростей валков отдельных клетей сводится лишь к устранению узких мест процесса прокатки, могущих нарушить непрерывность его. Следовательно необходимо заняться изучением основ расчета главным образом первого класса непрерывных станов. Как иностранная, так и русская литература по этому вопросу крайне бедна, поэтому нами разработана теория калибровки в зависимости от угловых скоростей валков непрерывных станов.

Основное правило непрерывности всякого прокатного процесса заключается в том, что количество металла, проходящего в каждый данный момент через любую точку пути металла должно быть одно и то же от начала и до конца прокатки. Несоблюдение этого правила в процессе

периодической прокатки создает узкие места, заставляющие искусственно укорачивать или удлинять паузы между пропусками и влечет за собою образование между клетями петли или растяжение металла, поскольку полоса находится одновременно в нескольких клетях. Образование петли между клетями в непрерывных станах с жестким соотношением угловых скоростей в них расстраивает, а иногда работу делает невозможной. При растяжении металла между клетями получается неточный профиль. Поэтому в процессе непрерывной прокатки особенно важно точное соблюдение рассматриваемого правила.

Правило постоянства масс металла во всех точках пути его в каждый данный момент представляется следующим общим выражением:

$$f \cdot c = \text{const.} \quad (1)$$

Здесь f — сечение штуки в данной точке пути металла и c — скорость ее в той же точке.

Обозначая сечение штуки в разных точках пути в один и тот же момент времени через $f_1, f_2, \dots, f_n$ и скорости металла в тех же точках соответственно через $c_1, c_2, c_3, \dots, c_n$, очевидно можем написать из (1)

$$f_1 c_1 = f_2 c_2 = f_3 c_3 \dots f_n c_n. \quad (2)$$

Порядок обозначений будем располагать от конца к началу прокатки.

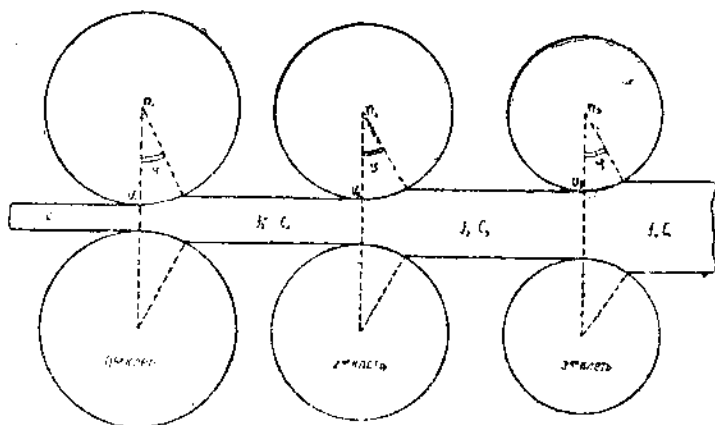
Скорость c_1 металла, выходящего из выпускной клетки, определяет собою теоретическую производительность стана, поэтому ею обычно задаются.

Будем различать скорость металла c и окружную скорость валков v в калибре.

Из теории прокатки известно, что скорость металла, выходящего из валков, несколько больше окружной скорости этих валков, определяемой по катающему диаметру их, и что скорость металла, входящего в те же валки, меньше их окружной скорости.

В применении к непрерывному стану (фиг. 62а) можно написать:

$$c_1 > v_1 > c_2 > v_2 > c_3 > v_3 > c_4 \dots > c_n > v_n. \quad (B)$$



Фиг. 62 а.

Разница в этих скоростях определяется наличием опережения и попятного движения металла в валках. Если обозначить коэффициент опережения, т. е. множитель, показывающий отношение $\frac{c_n}{v_n}$ через α_n и коэффициент отставания вследствие попятного движения $\frac{c_{n+1}}{v_n}$ через β_n , то можно написать следующий ряд (C) для непрерывного стана:

$$\begin{aligned} c_1 &= v_1 \alpha_1 \\ c_2 &= v_2 \alpha_2 = v_1 \beta_1 \\ c_3 &= v_3 \alpha_3 = v_2 \beta_2 \text{ и т. д.} \\ c_n &= v_n \alpha_n = v_{n-1} \beta_{n-1} \\ c_{n+1} &= v_{n+1} \alpha_{n+1} = v_n \beta_n. \end{aligned} \quad (C)$$

Из равенства (2) и ряда (C) можно написать следующий ряд (A)

$$\begin{aligned} \frac{c_2}{c_1} &= \frac{f_1}{f_2} = \frac{v_2 \alpha_2}{v_1 \alpha_1} \\ \frac{c_3}{c_2} &= \frac{f_2}{f_3} = \frac{v_3 \alpha_3}{v_2 \alpha_2} \\ &\dots \dots \dots \\ \frac{c_n}{c_{n-1}} &= \frac{f_{n-1}}{f_n} = \frac{v_n \alpha_n}{v_{n-1} \alpha_{n-1}}, \end{aligned} \quad (A)$$

где f — площади калибров.

Отсюда получаем для окружных скоростей в калибрах ряд (G):

$$\begin{aligned} v_2 &= v_1 \frac{f_1}{f_2} \cdot \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \\ v_3 &= v_2 \frac{f_2}{f_3} \cdot \frac{\alpha_2}{\alpha_3} = v_1 \frac{f_1}{f_2} \cdot \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \cdot \frac{f_2}{f_3} \cdot \frac{\alpha_2}{\alpha_3} = v_1 \frac{f_1}{f_3} \cdot \frac{\alpha_1}{\alpha_3} \\ v_4 &= v_3 \frac{f_3}{f_4} \cdot \frac{\alpha_3}{\alpha_4} = v_1 \frac{f_1}{f_3} \cdot \frac{\alpha_1}{\alpha_3} \cdot \frac{f_3}{f_4} \cdot \frac{\alpha_3}{\alpha_4} = v_1 \frac{f_1}{f_4} \cdot \frac{\alpha_1}{\alpha_4} \\ &\dots \dots \dots \\ v_n &= v_1 \frac{f_1}{f_n} \cdot \frac{\alpha_1}{\alpha_n}. \end{aligned} \quad (G)$$

Формула (G) устанавливает искомую связь между калибровкой и окружной скоростью валков в калибрах через коэффициент опережения.

Вопрос об опережении до сих пор изучен мало. Еще не накоплено достаточно экспериментального материала, чтобы можно было создать бесспорную теорию опережения. На основании анализа процесса деформации металла в валках, учитывая лишь главнейшие факторы, влияющие на опережение, а именно обжатие, уширение, диаметр валков и угол защемления, можно предложить формулу для вычисления опережения, что и было мною сделано в статье „Явления опережения и попятного движения металла в ручьях в связи с уширением его“ („Уголь и Железо“, 1926 г. № 7).

Предложенная мною формула для определения опережения имеет следующий вид:

$$y = \frac{\left(B + Z \frac{\sin \varphi - \sin \gamma}{\sin \varphi} \right) [h + d (1 - \cos \gamma)] \cos \gamma}{(B + Z) \cdot h} - 1.$$

Здесь B — ширина штуки до пропуска.

Z — полное уширение за пропуск.

φ — угол захвата.

γ — угол защемления.

h — высота штуки после пропуска.

d — катающий диаметр валков.

y — относительное приращение скорости (опережение относительно окружной скорости).

Отсюда коэффициент опережения

$$a = y + 1 = \frac{\left(B + Z \frac{\sin \varphi - \sin \gamma}{\sin \varphi} \right) [h + d (1 - \cos \gamma)] \cos \gamma}{(B + Z) \cdot h} \quad (5)$$

Имея калибровку, легко определить коэффициент опережения по этой формуле в каждом калибре, если известен угол защемления. Последний зависит прежде всего от коэффициента трения горячего металла по валкам. Коэффициент трения в свою очередь зависит от температуры, состояния поверхности валков, давления, скорости и формы калибра. За неимением достаточных данных об этих зависимостях в дальнейшем условно принимаем угол защемления $\gamma = 10^\circ$. Из сказанного ясно, что мы еще не можем вполне точно определять опережение в каждом частном случае.

За неимением пока более точных данных будем пользоваться в дальнейшем для определения опережения формулой (5) при $\gamma = 10^\circ$.

Для пользования формулой (5) необходимо знать катающий диаметр валков и размеры последовательных калибров.

По формуле $v = \frac{\pi D n}{60}$ устанавливается зависимость между окружной скоростью в данном калибре и числом оборотов валков в минуту

$$h = 19,1 \frac{v}{D} \quad (H)$$

Итак формулы (G) и (H) исчерпывают вопрос об установлении зависимости между калибровкой непрерывного стана и числом оборотов валков в каждой клетке.

Воспользуемся этими формулами для решения конкретной задачи.

Если бы в непрерывном стане прокатывалась только одна заготовка определенного сечения, то было бы просто установить ряд угловых скоростей стана по последним формулам. Но обычно в одном непрерывном стане может прокатываться из одной и той же или из разных болванок несколько различных профилей. При этом коэффициенты вытяжки в разных случаях могут быть различны, т. е. иметь не вполне тождественные ряды. Поэтому целесообразно прежде всего сделать калибровку одного наиболее ходового профиля, установить для него ряд коэффициентов вытяжки, чтобы при калибровке остальных профилей пользоваться им как нормальным (но не обязательным) рядом для данного стана.

При определении угловых скоростей и опережения весьма важно точное определение катающего диаметра в каждом калибре. Определение катающих диаметров будем делать по методу Даля.

Нормальное число оборотов валков каждой клетки определяем по избранной калибровке наиболее ходового профиля. Обозначим нормальное число оборотов валков каждой клетки через n .

Затем проводим предварительную калибровку для всякого другого профиля, катаемого в данном стане, пользуясь нормальным рядом коэффициентов вытяжки. При помощи формул (G) и (H) по этой предварительной калибровке определяем число оборотов валков в каждой клетке n' , которые, вообще говоря, не совпадают с избранным ранее нормальным числом оборотов n .

Поэтому для получения нормального числа оборотов валков в каждой клетке необходимо применение предварительной калибровки.

Это исправление легко проводится при помощи следующего приема. Из формулы (H)

$$n' = \frac{60 v'}{\pi d} = 19,1 \frac{v'}{d} = 19,1 \frac{v_1 f_1 a_1}{d f' n a_n}$$

видно, что увеличение (уменьшение) n' до n влечет за собою при данном d увеличение (уменьшение) v' в отношении $\frac{n}{n'}$.

Но из формулы

$$v' = \frac{v_1 f_1 a_1}{f' n a_n},$$

где f'_n — сечение калибра по предварительной калибровке, видно, что для увеличения (уменьшения) v' в отношении $\frac{n}{n'}$ необходимо уменьшить (увеличить) f'_n в отношении обратном $\frac{n'}{n}$.

Таким образом исправленная площадь калибра равна

$$f_n = f'_n \frac{n'}{n},$$

т. е. по площадям предварительной калибровки f'_n и по предварительному числу оборотов n' легко находится исправленная площадь калибра f_n , отвечающая заданному числу оборотов n . Если при этом изменится d , то пересчет следует повторить для нового d .

Рассмотрим применение изложенной теории расчета калибровки и угловых скоростей валков на примере расчета непрерывного заготовочного стана по программе прокатки и диаметру стана завода Индиана Стил К^о в Гери.

Возьмем для расчета типичную первую группу в шесть клеток непрерывного заготовочного стана с диаметром 610 мм. Пусть из блюминга в стан поступает заготовка 200×200 мм. Из стана выпускаются следующие заготовки: 100×100, 130×130, 152×152, 89×124, 162×109, 79×203 и 114×184.

Примем за наиболее ходовую заготовку 100×100, так как она поступает во вторую непрерывную группу. Поэтому нормальный ряд коэффициентов вытяжки определим по этому профилю.

Средний коэффициент вытяжки равен:

$$\mu_{\text{ср}} = \sqrt[6]{\frac{200 \cdot 200}{100 \cdot 100}} = 1,26.$$

Написав ряд произведений шести средних вытяжек (первая строка), исправляем его во второй строке в смысле постепенного возрастания коэффициентов вытяжки в направлении прокатки, задаемся в первом пропуске (шестая клетка) коэффициентом вытяжки 1,2, при угле захвата около 26° (табл. 24/1).

Первый ряд 1,26 1,26 1,26 1,26 1,26 1,26

Второй ряд 1,2 1,23 1,25 1,27 1,29 1,32

Калибры VI V IV III II I

Произведения коэффициентов обоих рядов равны между собою. Пользуясь коэффициентами вытяжки второго ряда, находим площади всех калибров для заготовки 100×100.

Вычисления располагаем в таблице 24/1. Схема калибровки представлена в фиг. 63—64. При вычислении катающего диаметра не принимаем в расчет и верхнего, ни нижнего давления.

Таблица 24/1

	μ	f	Калибры		ΔH	z	d	φ	σ	$\frac{\alpha_1}{\alpha_{11}}$	v	n	fva
			B	H									
1	1,32	100000	142	142	54	7	539	26°	1,03	1,01	0,760	27	7,83
2	1,29	13 230	19	135	48	13	542	24°	1,020	1,02	0,380	20,42	7,83
3	1,27	17 050	120	130	50	10	480	28°	1,010	1,020	0,455	18,1	7,83
4	1,25	21 700	180	120	45	15	490	25°	1,008	1,020	0,357	13,93	7,82
5	1,23	27 100	165	155	50	10	445	28°	1,008	1,030	0,286	12,3	7,81
6	1,2	31 300	215	155	45	15	455	26°	1,001	—	0,235	9,87	7,83
Иск.	6	40000	200	200									

Вычисления f , B , H , Δ , $H Z$, d и φ не требуют пояснений.

Вычисление коэффициента опережения сделано по формуле (а), при чем угол защемления γ во всех случаях принят 10° .

$$a)^* =$$

$$B + Z \left(\frac{\sin \varphi - \sin \gamma}{\sin \varphi} \right) [h + d (1 - 7 \cos \gamma)] \cos \gamma$$

$$= \frac{(B + Z) \cdot h}{(B + Z) \cdot h}$$

$$a_1 = \frac{(135 + 3) \cdot 148}{142 \cdot 142} = 1,03$$

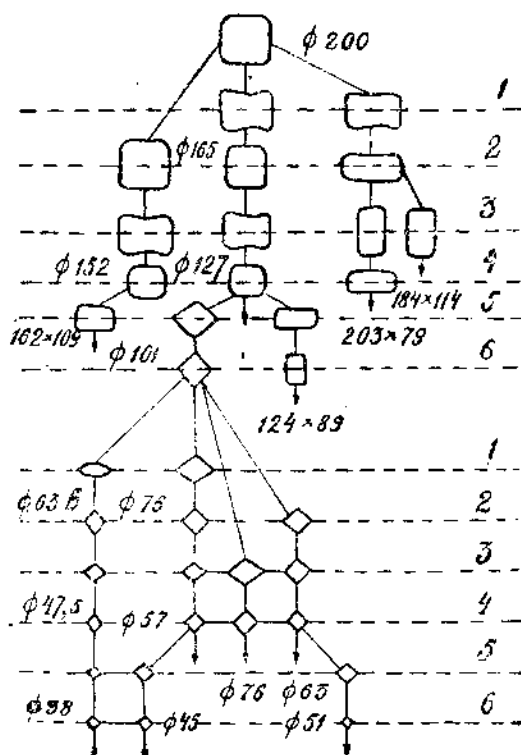
$$a_2 = \frac{(183 + 7,5) \cdot 142}{196 \cdot 135} = 1,02$$

$$a_3 = \frac{(110 + 6,3) \cdot 135}{180 \cdot 130} = 1,01$$

$$a_4 = \frac{(165 + 8,4) \cdot 155}{180 \cdot 120} = 1,008$$

$$a_5 = \frac{(155 + 6,3) \cdot 170}{165 \cdot 165} = 1,008$$

$$a_6 = \frac{(100 + 9) \cdot 159,5}{215 \cdot 155} = 1,001$$



Фиг. 63—64.

Значения $\frac{\sin \varphi - \sin \gamma}{\sin \varphi}$ при $\gamma = 10^\circ$

φ	$\frac{\sin \varphi - \sin \gamma}{\sin \varphi}$	φ	$\frac{\sin \varphi - \sin \gamma}{\sin \varphi}$	φ	$\frac{\sin \varphi - \sin \gamma}{\sin \varphi}$
14°	0,282	21°	0,516	27°	0,613
15°	0,320	22°	0,536	28°	0,630
16°	0,370	23°	0,556	29°	0,642
17°	0,406	24°	0,573	30°	0,658
18°	0,438	25°	0,588	31°	0,668
19°	0,466	26°	0,604	32°	0,673
20°	0,490				

* Для вычисления $\frac{\sin \varphi - \sin \gamma}{\sin \varphi}$ тут же подана таблица и график (фигура 65).

Примем число оборотов валков выпускной клетки — 27 об/м. Отсюда определяем окружную скорость валков выпускной клетки:

$$v_1 = \frac{\pi d n_1}{60} = \frac{3,14 \cdot 0,539 \cdot 27}{60} = 0,760 \text{ м/сек.}$$

Число оборотов валков каждой клетки определено по формуле:

$$n = 19,1 \frac{v_1}{d_n} \cdot \frac{f_1}{f_n} \cdot \frac{\alpha_1}{\alpha_n}$$

Результаты вычислений приведены в последнем столбце таблицы 24/1. Скорости $v_2 \dots v_n$ определены по формуле (Г). В последнем столбце контролируется fva .

Рассмотрим калибровку полосы 89×124. Сечение $f_1 = 89 \cdot 124 = 11\,030 \text{ мм}^2$.

Данное сечение почти равно сечению заготовки 100×100, калибровка которой только что изложена, поэтому можно изменить лишь первый и второй калибры, оставив остальные без изменения (фиг. 63—64).

Сечение третьего калибра $f_3 = 17050 \text{ мм}^2$. Полная вытяжка в первом и втором калибрах равна $\frac{17050}{11030} = 1,545$.

Сохранив прежний коэффициент вытяжки во втором калибре, а именно 1,29, находим коэффициент вытяжки в первом калибре

$$k_1 = \frac{1,545}{1,29} = 1,2.$$

Следовательно $f_2 = 11\,030 \cdot 1,2 = 13\,250 \text{ мм}^2$.

Таблица 24/2

№№	μ	f	Калибры		ΔH	z	d	φ	α	$\frac{\alpha}{\alpha_n}$	v	n'	fva
			B	H									
1	1,2	11030	89	114	32	4	486	21	1,025	1,00	0,687	27	—
2	1,29	13230	156	85	45	26	525	24	1,0	1,015	0,587	21,3	—
3	1,27	17050	130	180	50	10	480	28	1,010	1,018	0,451	17,95	—
4	1,25	1700	180	120	45	15	490	25	1,007	1,023	0,356	13,86	7,78
5	1,23	27100	165	165	50	10	445	28	1,002	1,025	0,286	12,30	7,77
6	1,20	3330	215	55	45	15	445	26	1,000	—	0,233	10,02	7,76
Исправлено:													
1	1,245	11030	69	24	62	1	—	—	—	—	0,687	27	7,77
2	1,24	17780	156	83	—	—	—	—	—	—	0,564	20,42	7,77
3	1,23	16930	180	130	—	—	—	—	—	—	0,454	18,1	7,76

Принимая на уширение в первом калибре 4 мм, получаем:

$$H_2 = 89 - 4 = 85 \text{ мм,}$$

отсюда

$$B_2 = \frac{13\,250}{85} = 156 \text{ мм.}$$

В таблице 24/2 приведены все расчеты калибровки. Скорости v определены по формуле (Г).

В расчете угловых скоростей исходим из установленного уже числа прокатов валков выпускной клетки — 27 об/м.

Отсюда окружная скорость валков выпускного калибра равна

$$v = \frac{0,486 \cdot 27}{60} = 0,687 \text{ м/сек.}$$

По формулам (G) и (H) находим n' , помещенные в последнем столбце таблицы 26.

Сравнивая полученный ряд n' с нормальным рядом n , видим, что заметное отступление имеет место только во второй клетке.

В остальных клетках отступления ничтожно малы.

Поэтому подлежат исправлению лишь размеры калибра во второй клетке по формуле:

$$f_2 = f'_2 \frac{n'}{n},$$

$$\text{т. е.} \quad -13\,230 \frac{21,3}{20,42} = 13\,780 \text{ мм}^2.$$

Результаты приведены в таблице 24/2.

Рассмотрим теперь калибровку заготовки 162×109 и 152×152 .

Для предварительной калибровки воспользуемся установленным выше нормальным рядом коэффициентов вытяжки. Рассмотрим прежде всего в скольких и каких именно калибрах следует вести прокатку.

Площади выпускных калибров равны:

$$162 \cdot 109 = 17\,700 \text{ и } 152 \cdot 152 = 23\,000.$$

Сравнивая эти площади с площадями калибров таблицы 1, мы видим, что выпускной калибр для полосы $162 \cdot 109$ можно поместить во второй или третьей клетке.

$$\text{Коэффициент полной вытяжки равен } \frac{40\,000}{17\,700} = 2,26.$$

Пользуясь коэффициентами второй, третьей и четвертой клеток, имеем, для пятой клетки:

$$\mu_5 = \frac{2,26}{1,29 \cdot 1,27 \cdot 1,25} = 1,1.$$

Пользуясь коэффициентами третьей, четвертой и пятой клеток, имеем для шестой клетки:

$$\mu_6 = \frac{2,26}{1,27 \cdot 1,25 \cdot 1,23} = 1,16.$$

И в том и в другом случае прокатка должна вестись в четырех калибрах.

Так как отношение площадей $\frac{23\,000}{17\,700} = 1,3$ близко к нормальному коэффициенту вытяжки во второй клетке, то целесообразно воспользоваться первым вариантом, чтобы выпустить из второй клетки полосу 162×109 и из третьей квадрат 152×152 .

Таким образом для расчета калибровки принимаем ряд коэффициентов вытяжки, приведенный в расчетной таблице 24/3.

При расчете скоростей исходим из 20,5 об/м во второй клетке. При этом условии имеем окружную скорость в выпускном калибре второй клетки:

$$v_2 = \frac{3,14 \cdot 0,501 \cdot 20,5}{60} = 0,538.$$

По формулам (G) и (H) находим n' , помещенные в таблице 24/3.

Таблица 24/3

	μ	f	Калибры		ΔH	z	d	φ	α	$\frac{\alpha_1}{\alpha_n}$	v	n'	$f_{\text{ва}}$
			B	H									
2	1,3	17700	162	109	43	10	501	24	1,025	—	0,588	20,5	9,77
3	1,27	23000	152	152	158	13	458	29	1,000	1,025	0,425	17,70	9,78
4	1,25	29200	200	146	59	22	464	29	1,000	1,025	0,334	13,76	9,76
5	1,10	36500	205	178	22	5	432	19	1,008	1,016	0,265	11,72	—
Исх.		40000	200	300									
Исправл.		35000	200	175	—	—	435	—	—	1,016	0,278	12,3	9,80

Сравнивая ряд n' с нормальным рядом n , видим, что оба ряда, за исключением пятого калибра, совпадают достаточно точно, чтобы не прибегать к исправлению принятой калибровки. Исправленная площадь $f_s = 36\,500 \frac{11,72}{12,3} = 3\,500$ (см. табл. 24/3).

Возможное образование небольших петель или растяжений можно устранить настройкой валков.

Рассмотрим калибровку заготовки $200 \times 79 = 16\,040$. Площадь подходит для выпуска из второй клетки.

Полная вытяжка равна:

$$\frac{40000}{16\,040} = 2,49.$$

Как и в предыдущем случае, пользуемся нормальным рядом коэффициентов вытяжки, начиная со второго калибра.

$$\mu_s = \frac{2,49}{1,29 \cdot 1,27 \cdot 1,25} = 1,22.$$

Итак прокатка намечается с рядом коэффициентов:

$$1,29 \quad 1,27 \quad 1,25 \quad 1,22$$

Отсюда определяем предварительно площади сечений и линейные размеры калибров. Подсчеты приведены в таблице 24/4.

Примем $n_s = 21,5$ об/м.

Найдем по формулам (φ) и (H) таблицы 24/4, что ряд n' несколько отличается от принятого нормального ряда n .

Таблица 24/4

	μ	f	B	H	ΔH	z	d	φ	α	$\frac{\alpha_1}{\alpha_n}$	v	n'
2	1,29	16 040	203	79	31	15	531	19	1,000	—	0,570	20,5
3	1,27	20 700	110	188	57	3	422	30	1,009	0,99	0,438	19,8
4	1,35	26 800	245	107	38	20	503	22	1,000	1,0	0,348	13,2
5	1,22	22 700	225	145	55	25	465	28	1,000	1,0	0,280	11,5

Произведенная поправка площадей калибров по формуле

$$f_n = f_n' \frac{n'}{n}$$

приведена в таблице 24/5,

Таблица 24/5

	μ	f	B	H	ΔH	z	d	φ	α	$\frac{\alpha_1}{\alpha_n}$	v	n	fva
2	1,41	16 040	203	79	42	15	531	19	1,000		0,570	20,5	9,15
3	1,11	22 800	120	188	45	13	422	30	1,009	0,99	0,400	18,1	9,12
4	1,22	25 000	233	107	38	23	503	22	1,000	1,0	0,366	13,9	9,15
5	1,30	30 600	210	145	45	10	465	28	1,000	1,0	0,299	12,3	9,15

Остается рассмотреть прокатку заготовки 114×184 . Площадь сечения этой заготовки равна $21 000 \text{ мм}^2$. По размеру сечения выпускной калибр следует поместить в третьей клетки. Расчет дан в таблице 24/6.

Таблица 24/6

	μ	f	B	H	ΔH	z	d	φ	α	$\frac{\alpha_1}{\alpha_n}$	v	n	fva
3	1,11	21 000	114	184	36	8	426	24	1,000	—	0,402	18	8,44
4	1,25	23 300	220	106	26	9	491	19	1,03	0,97	0,357	13,65	8,42
5	1,43	27 000	211	132	68	11	455	32	1,02	0,98	0,296	12,4	8,42

Примем на уширение 8 мм (около $0,2 \Delta H$). Получаем:

$$H_4 = 114 - 8 = 106 \text{ мм и } f_4 = 106 \cdot 220 = 23 300.$$

$$\text{Отсюда } \mu_3 = \frac{23 300}{21 000} = 1,11.$$

В четвертой клетки принимаем нормальный коэффициент вытяжки

$$\mu = 1,25.$$

$$\text{Отсюда } f_5 = 23 300 \cdot 1,25 = 27 900.$$

$$H_5 = 27 900 : 211 = 132.$$

Четвертый и пятый калибры отличаются от имеющих только высотой: высота четвертого калибра меньше на 13 мм. Следовательно требуется опустить верхний валок четвертой клетки на 13 мм, не меняя размера имеющегося калибра. Точно также высота пятого калибра меньше на 23 мм. Значит и в пятой клетки требуется опустить верхний валок на 23 мм. Если в пятый калибр задавать из блюминга заготовку 200×200 , то в пятой клетки коэффициент вытяжки будет:

$$\mu_5 = 40 000 : 27 000 = 1,43 \text{ и угол захвата } 32^\circ.$$

Желая снизить угол захвата, мы можем без всяких затруднений задавать в пятый калибр заготовку меньшей высоты, например, 200×175 , так как коэффициент вытяжки в первом по порядку прокатки пропуске может быть какой угодно. В этом случае угол захвата будет не больше 26° .

Вычисление B , H , ΔH , z , d и φ не требует пояснений.

Приведем результаты расчета коэффициента опережения.

$$\alpha_3 = 0,99 \sim 1$$

$$\alpha_4 = 1,03$$

$$\alpha_5 = 1,02$$

Приведем расчет окружных скоростей по формуле (Ф) и угловых скоростей по формуле (Н).

$$v_3 = \frac{3,14 \cdot 0,426 \cdot 18}{60} = 0,402 \quad 18$$

$$v_4 = \frac{0,402 \cdot 21\,000 \cdot 0,97}{23\,300} = 0,352 \quad n_4 = 19,1 \frac{351}{491} = 13,65,$$

$$v_5 = \frac{0,402 \cdot 21\,000 \cdot 0,98}{27\,900} = 0,296 \quad n_5 = 19,1 \frac{296}{455} = 12,4.$$

В результате получены числа оборотов, достаточно хорошо согласующиеся с принятыми нормальными в этих клетях угловыми скоростями.

Сделаем сводку угловых скоростей, рассчитанных по выработанной нами калибровке всех семи заготовок (см. таблицу 24/7).

Таблица 24/7

№№	100×100	130×130	89×114	162×109	152×152	79×208	114×184
1	27	—	27	—	—	—	—
2	20,42	—	20,42	20,7	—	20,5	—
3	18,1	13,1	18,1	17,7	17,7	18,1	18,0
4	13,9	13,9	13,86	13,76	13,76	13,9	13,65
5	12,3	12,3	12,3	12,3	12,35	12,3	12,4
6	9,87	9,87	10,02	—	—	—	—

Из таблицы 24/7 видно, что выработанный при калибровке заготовки 100×100 ряд угловых скоростей довольно хорошо выдержан для всех семи заготовок.

Приведенный здесь расчет калибровки первой группы непрерывного заготовочного стана почти точно совпадает с калибровкой стана завода Индиана-Стиль Ко (см. Домез 1929 г. № 6, стр. 83).

Приступая к изложению примера калибровки из расчета второй группы непрерывного заготовочного стана, мы также выбираем программу прокатки этого стана того же завода, чтобы иметь критерий практичности предложенного метода.

Стан в шесть клетей имеет диаметр валков $D=457$ мм.

В стан поступает заготовка 4"4" или 100×100 мм из первой непрерывной группы.

Стан выпускает следующие заготовки 38×38, 45×45, 51×51, 57×57, 63×63, 76×76 мм.

Как и в предыдущем примере, устанавливаем по наиболее ходовому из мелких профилей нормальный ряд коэффициентов вытяжки. В данном случае определяем его по калибровке квадрата 45×45 мм².

В стане 457 болванка 100×100 мм может прокатываться по системе квадрат—ромб или квадрат—овал, при чем коэффициент вытяжки целесообразно уменьшать в направлении прокатки.

Как обычно, в таких случаях следует определить ряд квадратов и затем вставить между ними ромбы или овалы.

Для заготовки 45×45 средний коэффициент вытяжки от квадрата к квадрату равен:

$$\mu_{\text{ср}} \sqrt[3]{\frac{100 \cdot 100}{45 \cdot 45}} = 1,705.$$

Заменяем ряд постоянных коэффициентов вытяжки от квадрата к квадрату $\mu_{\text{ср}} = 1,705$ рядом убывающих коэффициентов вытяжки от квадрата к квадрату, произведение которых равно $1,705^3$.

$$\mu_5 \quad \mu_3 \quad \mu_1 \\ 1,83 \quad 1,71 \quad 1,58.$$

Все вычисления калибровки 45×45 даем в таблице 24/8. Номера клеток располагаются обратного хода прокатки (первый столбец). Во втором столбце указаны коэффициенты вытяжки от квадрата к квадрату.

Таблица 24/8.

	μ	f	c	b	h	z	Δh	f_p	μ	α	φ	α	$\frac{\alpha_1}{\alpha_n}$	v	n	fvz
1	1,58	2025	45	63	63	7	24	—	1,205	425	19°	1,035	—	3,46	156	718
2	—	—	—	87	53	7	24	2440	1,31	429	19°	1,05	0,975	2,8	124,7	718
3	1,71	3200	56,6	80	80	7	32	—	1,23	417	21°	1,02	1,005	2,2	100,6	718
4	—	—	—	112	73	7	32	1083	1,34	421	23°	1,04	0,935	1,688	76,6	718
5	1,63	5480	74,0	105	105	7	41	—	1,33	405	21°	1,015	1,009	1,29	60,8	718
6	—	—	—	149	95	7	41	7300	1,37	408	27°	1,023	0,995	0,951	44,8	718

Исх. 10000 142 142

В третьем столбце помещены площади квадратов, полученные из этих коэффициентов. В четвертом—шестом столбцах помещены линейные размеры квадратов, а также определяемые из них линейные размеры ромбов, вставленных между квадратами. Для этого задаемся в данном случае уширением $z=7$ мм. Тогда

$$b_2 = h_3 + z_1 \quad h_2 = b_1 - z_1 \\ b_4 = h_5 + z \text{ и т. д.} \quad h_4 = b_3 - z \text{ и т. д.}$$

В столбце 8 помещаем полученные вертикальные обжатия.

В столбце 9—площади ромбов, определяемые из них линейных размеров.

В столбце 10 помещены полученные из площадей коэффициенты вытяжки. Будем называть в дальнейшем этот ряд нормальным рядом коэффициентов вытяжки стана.

В столбце 11 помещены катающие диаметры, определяемые по формуле

$$d = D_0 - 0,5h.$$

В столбце 12 даны углы захвата, определенные с точностью до 1° .

В столбце 13 помещены коэффициенты опережения, по формуле

$$\alpha = \frac{\left(B + z \frac{\sin \varphi - \sin \gamma}{\sin \varphi} \right) [h + d(1 - \cos \gamma)] \cos \gamma}{(B + z)h}$$

$$\alpha_1 = 1,025$$

$$\alpha_2 = 1,05$$

$$\alpha_3 = 1,02$$

$$\alpha_4 = 1,04$$

$$\alpha_5 = 1,015$$

$$\alpha_6 = 1,028$$

Задаемся числом оборотов выпускных валков $n_1=156$ (столбец 16)
Отсюда определяем выпускную окружную скорость

$$v_1=0,0524, 0,425 \cdot 156 = 3,46 \text{ м/сек.}$$

Далее определяем окружные скорости по формуле:

$$v_n = \frac{v_1 f a_1}{f_n a_n}$$

Приведем вычисление этих скоростей в м/сек:

$$v_2 = \frac{3,46 \cdot 2025}{2440} \cdot 0,975 = 2,8$$

$$v_3 = \frac{3,46 \cdot 2025}{3200} \cdot 1,005 = 2,2$$

$$v_4 = \frac{3,46 \cdot 2025}{4086} \cdot 0,985 = 1,688$$

$$v_5 = \frac{3,46 \cdot 2025}{5480} \cdot 1,009 = 1,29$$

$$v_6 = \frac{3,46 \cdot 2025}{7300} \cdot 0,995 = 0,954.$$

Для контроля правильности произведенных вычислений в столбце 17
приведено произведение fva , которое, как и следует, оказалось постоян-
ным. В столбце 16 приведено число оборотов валков, удовлетворяющее
принятой калибровке. Оно определяется по формуле:

$$n = 19,1 \frac{v}{d}.$$

Помещенный в столбце 16 ряд угловых скоростей будем считать нор-
мальным рядом данного стана n .

Этому ряду скоростей должна удовлетворять калибровка всех осталь-
ных заготовок, прокатываемых в стане.

Переходим теперь к вычислению калибров для получения квадратов
38×38 и др. по установленному нами методу.

Пользуясь нормальным рядом коэффициентов вытяжки, находим пред-
варительно площади калибров f_n и угловые скорости, отвечающие этой
предварительной калибровке n' .

После этого для получения нормальных угловых скоростей n , уста-
новленных нами выше для клетей стана, определяем окончательно пло-
щади калибров f_n по формуле:

$$f_n = f_n' \frac{n'}{n};$$

и наконец окончательно определяем линейные размеры калибров, отве-
чающие полученным площадям их.

Таблица 25

	μ	f'	c	b	h	Δh	z	d	φ	α	$\frac{a^1}{\alpha}$	v	fva	$(n'$	n	f	μ	b	h	c
1	1,205	1444	88	54	54	17	5	17°	1,035	—	3,51	523	156	156	1444	1,185	54	54	38	
2	1,31	1740	—	71	49	18	4	—	1,090	0,951	2,77	525	122,5	124,7	1710	1,31	70	49		
3	1,28	2280	47,5	67	67	27	5	20°	1,038	0,997	2,21	527	99,7	100,6	220	1,31	67	67	47,5	
4	1,34	2920	—	94	62	28	6	20°	1,503	0,982	1,705	524	77,6	76,8	2960	1,34	95	62		
5	1,33	3910	62,5	88	88	38	25	24°	1,000	1,035	1,340	524	60,0	60,8	3960	1,315	88	88	63	
6	1,925	5200	—	124	63	37	24	25°	1,000	1,035	1,005	—	44,7	44,8	5200	1,925	124	63		

Иск. 10000 100 100 100

100 100

Определение ряда калибров по второму методу для заготовки 38×38 приведено в таблице 25. Во втором столбце приведен нормальный ряд коэффициентов вытяжки за исключением μ_6 , который определен из следующего:

$$\mu_6 = \frac{100 \cdot 100}{38 \cdot 38 \cdot 1,205 \cdot 1,31 \cdot 1,28 \cdot 1,34 \cdot 1,33} = 1,925.$$

Для уменьшения угла захвата шестой калибр должен быть с овалом. Площадь овала:

$$f_6 = \frac{2bh}{3}$$

Отсюда

$$b_6 = \frac{3 \cdot 5 \cdot 200}{2 \cdot 63} = 124.$$

Катающий диаметр в квадратах и ромбах $d = D_0 - 0,5 h$; в овале $d = D_0 - \frac{2}{3} h$.

Вычисления, приведенные в таблице 25, не требуют дальнейших пояснений.

Сравнивая полученный из предварительной калибровки ряд угловых скоростей n' с нормальным рядом n , видим, что калибровка подлежит весьма незначительному исправлению только во втором и четвертом калибрах, что и сделано в таблице 25 в столбцах 17—21.

Сравнивая полученную калибровку для заготовок 45×45, 38×38 с данными завода Индиана—Стиль К°, мы видим почти полное совпадение в площадях квадратов:

Индиана-Стиль К° кв. 45×45, кв. 57, кв. 76, кв. 100 для 45×45					
Вычисленная	45×45	56,5	74	100	—
Индиана-Стиль К° кв. 38, кв. 47,5, кв. 63,5, кв. 100 для кв. 38×38					
Вычисленная	38	47,5	63	100	

Таблица 26

	μ	f	c	b	h	Δh	z	d	φ	a	$\frac{a_1}{a_n}$	v	fva	n'	n	f	μ	b	h
1	1,205	2 600	51	72	72	23	6	421	19°	1,015	—	3,44	907	156	156	2600	1,2	72	72
2	1,31	3 130	—	95	66	24	5	424	19°	1,050	0,965	2,76	906	1243	124,7	3120	1,305	95	66
3	1,28	4 100	61	90	90	34	5	412	23°	1,028	0,987	2,15	905	99,8	1 06	4070	1,373	90,0	90
4	1,34	5 250	—	85	124	21	—	395	19°	1,025	0,990	1,685	906	81,5	76,6	5585	1,23	127	87
5	1,422	7 035	—	165	85	56	24	414	30°	1,000	1,015	1,29	907	59,5	60,8	6880	1,15	162	85

Исх. 10 000 100 141 141

Вычисление калибровки для заготовки 51×51 и 63,5×63 помещено в таблице 26. Чтобы из одного ряда калибров можно было получить обе заготовки, калибровку следует разместить в 1—5 клетях. Пользуясь нормальным рядом коэффициентов вытяжки, определяем:

$$\mu_5 = \frac{100 \cdot 100}{51 \cdot 51 \cdot 1,205 \cdot 1,31 \cdot 1,28 \cdot 1,34} = 1,422.$$

Вычисления, приведенные в таблице 26, не требуют пояснений. Из таблицы видно, что в предварительной калибровке, весьма незначительному исправлению подвергались четвертый и пятый калибры.

Расчет калибровки заготовки 76×76 мм приведен в таблице 27, не требующей пояснений.

Таблица 27

	μ	f'	c	b	h	Δh	z	d	φ	α	$\frac{\alpha_1}{\alpha_n}$	v	$fv\alpha$	n'	n	f	μ	b	h
3	1,28	6 774	76	108	108	35	5	403	24°	1,020	—	2,12	1248	100,0	100,0	5 774	1,314	108	108
4	1,34	7 390		143	103	41	10	405	26°	1,013	1,007	1,666	1248	78,6	76,6	7 580	1,275	147	103
5	1,01	9 900		144	133	9	2	390	13°	1,042	0,979	1,21	1248	59,3	60,8	9 660	1,026	145	133

Исх. 10 000 142 142 142 142

В таблице 28 приведена сводка калибров второй группы непрерывного заготовочного стана, отвечающих нормальному ряду угловых скоростей. Схема калибровки представлена на фиг. 63-64. Она вполне совпадает со схемой завода Индиана-Стиль К°.

Таблица 28

	n	38×38			45×45 57×57			51×51 63,5×63,5			76×76		
		c	b	h	c	b	h	c	b	h	c	b	h
1	156	38	54	54	45	63	63	51	72	72	—	—	—
2	124,7	—	70	49	—	87	56	—	95	66	—	—	—
3	100,6	47,5	67	67	56,6	80	80	63,5	90	90	76	108	108
4	76,6	—	95	62	—	112	73	—	127	87	—	147	103
5	60,8	63	88	88	74	105	105	—	162	85	—	145	133
			о в а л										
6	44,8	—	124	63	—	149	98	—	—	—	—	—	—

Итак нами установлен метод калибровки непрерывных станов при разнообразной программе прокатки, путем определения нормального ряда числа оборотов валков в непрерывной группе клетей. Избранный неизменный нормальный ряд угловых скоростей установлен жесткой шестеренной передачей от одного мотора и положен в основу калибровки всех профилей, катаемых в стане.

Задача разрешается совершенно просто, если каждая клеть обслуживается отдельным регулируемым мотором. В этом случае нет необходимости с такой точностью придерживаться определенного нормального ряда угловых скоростей в стане. Тем не менее, поскольку равенство

$$fv\alpha = \text{const},$$

лежащее в основе нашего метода, является важным организационным фактором, обеспечивающим отсутствие узких мест в процессе прокатки, предложенный метод применим также и ко всем прочим родам непрерывных станов.

При очень широкой программе прокатки и при необходимости достижения точности профилей в различных клетях предложенный метод дает возможность обосновывать ту или иную комбинацию жестко связанных между собою клетей в отдельных группах стана.

Мы рассмотрели производство заготовки в станах дуоревверсивных (блуждающих) и в станах триобжимных. Остается рассмотреть производство заготовки в станах дуонепрерывных, так называемых непрерывных заготовочных станах. Непрерывные заготовочные станы устанавливаются или непосредственно за блюмингом или непосредственно перед сортовым или проволочным станом.

В первом случае выходящая из блюминга полоса еще достаточно горяча, чтобы вести дальнейшую прокатку ее в непрерывном стане без подогрева. Во втором случае перед станом устанавливается печь для нагрева слитков или холодных блюмсов, при чем выходящая из непрерывного

полоса достаточно горяча, чтобы прокатываться в сортовом стане подогрева. Наконец, в третьем случае устанавливается непрерывный стан непосредственно за блюмингом для получения заготовки, и затем для дальнейшей прокатки полученной заготовки устанавливается еще один прокатный стан перед сортовым станом.

Установка непрерывного заготовочного стана непосредственно за блюмингом имеет целью повысить производительность блюминга до максимума, позволяя выпускать из него блюмсы большего сечения, например, 200×200 мм, предоставляя дальнейшую деформацию его вплоть до сечения 100×100 даже до сечения 38×38 мм непрерывному заготовочному стану.

Непрерывный заготовочный стан должен успеть пропустить через себя без подогрева весь прокатанный в блюминге металл, иногда за исключением некоторой его части, непосредственно из блюминга направляемой на склад крупной заготовки.

Непрерывный заготовочный стан обыкновенно состоит или из 1 группы в 6 клеток, или из одной группы в 8—10 клеток, или, наконец, из двух групп в общей сложности с 10—12 клетками (6+6 или 6+4 клеток).

Выбор той или иной системы непрерывного заготовочного стана зависит от программы прокатки заготовки, т. е. от выпускаемых им сечений заготовки и требуемой производительности блюминга. В американской практике обычно непрерывный заготовочный стан выпускает следующие сечения заготовки, которые следует признать рациональными для наших условий:

$1\frac{1}{2}$	или 33	мм или 40	мм	Режется на	длины 9 м.
$1\frac{3}{4}$	44	45	"	"	"
2	51	50	"	"	"
$2\frac{1}{4}$	57	55	"	"	"
$2\frac{1}{2}$	63	65	"	"	"
3	76	75	"	"	"
$3\frac{1}{4}$	83	85	"	"	"
$3\frac{1}{2}$	89	85	"	"	"
$3\frac{3}{4}$	95	90	"	"	"
4	102	100	"	"	2,5 до 4,5 м.
$4\frac{1}{2}$	114	115	"	"	"
5	127	125	"	"	"
$5\frac{1}{4}$	146	150	"	"	"
6	152	150	"	"	"

Кроме квадратной заготовки выпускается и плоская для фасонного железа, листового, сутунок и штрибсов. Непрерывный заготовочный стан в 6 клеток устанавливается, когда блюминг установлен на небольшую производительность и выпускает блюмсы сечением ($16—20$ д²) от 100 до 130 см² или квадрат от 100×100 до 125×125 мм. $P = 300\,000—430\,000$ т, при чем заготовительный стан выпускает □ от 38 до 90 мм. В этом случае остается недостаточно использованным и блюминг, и заготовочный стан. Поэтому чаще эта комбинация лучше применяется с выпуском из блюминга более крупных блюмсов — до 200×200 — и выпуском из заготовочного стана заготовки сечением от 100×100 до 150×150 .

Возможная производительность блюминга $P =$ до 800 000—900 000 т в год по вышеприведенным формулам (при 5500 часов).

В этом случае второй заготовочный стан становится непосредственно перед каждым сортовым или проволочным.

Заготовочный стан в 8 клеток целесообразно устанавливать, когда необходимо выпускать заготовку менее 100×100 , например, до 55×55 или 44×44 , и в то же время не требуется достижения максимальной производительности блюминга. Размер блюмсов в этом случае может быть сечением ($25—30$ д²) от 160 см² до 195 см² или квадрат от 127×127 до 140×140 .

При этом возможная производительность будет приблизительно равна от $P = 300 + 5,27 = 435\,000$ т/год (при 6400 час. в году) до $P = 5,5 \cdot 40 = 570\,000$ т/год.

При блюмсах сечением (42 д²) 270 см² или квадрате 165×165 мм устанавливают 10 клеток, разбивая их на две группы. Наконец, при блюмсах

сечением (64 д^2) 413 см^2 или квадрате 200×200 устанавливают 12 клетей, разбивая их на две группы по 6 клетей.

Блюмсы сечением больше 64 д^2 в заготовочный стан обычно не поступают. В обоих этих случаях выпускается полный комплект требуемых заготовок — от 38×38 до 152×152 и блюмса 200×200 .

Первые 4—6 клетей выпускают заготовку до 100×100 , которая или выпускается под ножницы или идет в дальнейшую прокатку в остальных клетях непрерывного заготовочного стана. Производительность блюминга, очевидно, может быть при этом доведена до максимума. Валки каждой группы имеют последовательно возрастающее число оборотов соответственно возрастанию длины прокатываемой одновременно во всех клетях группы полосы, т. е. коэффициентам вытяжки. В виду того, что смена валков понижает коэффициент использования стана, необходимо в валках разместить калибры так, чтобы можно было без смены валков выпускать возможно большее число сечений заготовки, соблюдая постоянство коэффициента вытяжки для всех калибров в каждой паре клетей.

На фиг. 63-64 (см. стр. 121) представлена схема калибровки непрерывного заготовочного стана с двумя группами клетей по 6 пар валков в каждом (зав. Индиана-Стиль К° в Гэри). Диаметр валков первой группы 610, второй — 457. Стан может выпускать следующие сечения без смены валков: $\square 127$, 101, 152 и 184×114 , $203 \times 79,84 \times 124$ и 162×109 из первой группы и $\square 76$, 63, 57, 51, 47, 45 и 38 из второй группы, т. е. все наиболее ходовые размеры заготовки.

Исходным является блюмс сечением $190,5 \text{ мм}—200$ в стороне квадрата. В первой паре валков помещается два калибра, во второй — три, в третьей — четыре, при чем четвертый (184×114) является выпускным для сутуночного непрерывного стана, и в четвертой — три калибра, при чем последний является выпускным также для полосового железа или штрибсов, другие два (152 и 127 мм) также являются или выпускными для заготовки, подлежащей разрезке, или выпускают полосу для следующей пары валков, в которой помещается три калибра; один из них выпускной (162×109). Наконец, в шестой паре валков помещается два выпускных калибра ($\square 101 \times 101$ и 124×89).

Калибр 101×101 дает также полосу для питания следующей группы, выпускающей шесть указанных ранее сечений заготовки.

ГЛАВА IV

ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ИЛИ ВЫТЯЖНЫЕ ОВАЛЬНЫЕ И КВАДРАТНЫЕ КАЛИБРЫ

Выше было выяснено, что система чередующихся овалов и квадратов способствует энергичной вытяжке и ускоряет прокатку. Поэтому в последнее время эта система преимущественно применяется в обжимных и подготовительных станах мелкосортного и среднесортного железа, для которого быстрая прокатка необходима, вследствие быстрого охлаждения тонких прутков. На фиг. 66 изображена старая калибровка стрелчатými ручьями и ромбами валков для прокатки круглого железа толщиной $1\frac{1}{2}$ " из квадратной заготовки $4" \times 4"$, состоящая из 19 калибров, и рядом с ней новая калибровка по системе овал-квадрат для прокатки того же размера из такой же заготовки, имеющая всего 10 калибров и введенная с начала нынешнего столетия.

Для подготовительных или вытяжных калибров размеры овала (фиг. 66) определяются по таблице Кирхберга (таблица 29), при чем предварительно определяется толщина овала h_n по стороне квадрата, следующего за овалом в порядке прокатки; толщина овала h_n равна стороне квадрата C_{n-1} минус уширение.

Вычисление овальных ручьев

Таблица 29

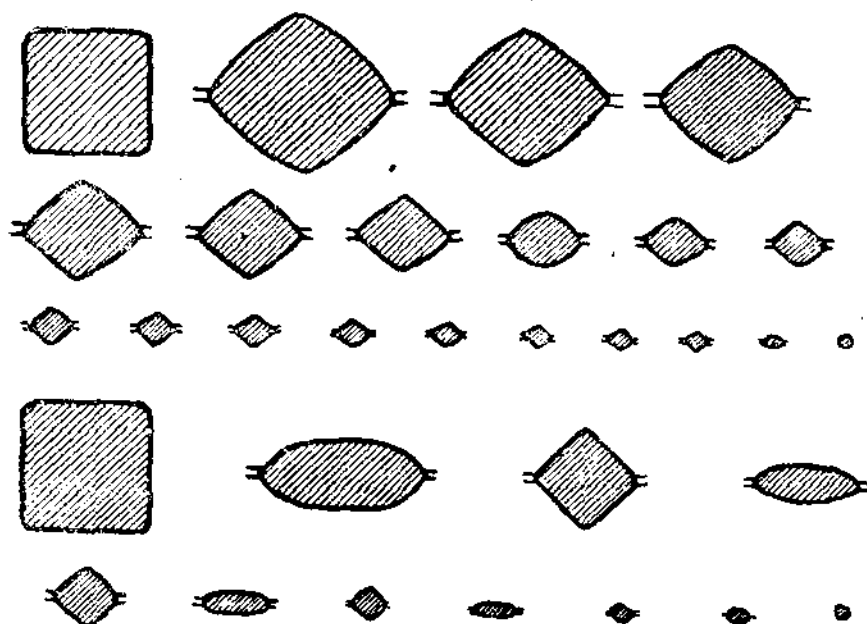
r	$\frac{Q}{h^2}$	$\frac{r}{h}$	$\frac{b}{h}$	$\frac{Q}{h^2}$	$\frac{r}{h}$	$\frac{b}{h}$	$\frac{Q}{h^2}$	$\frac{r}{h}$
1,10	0,843	0,5525	1,47	1,065	0,7902	1,84	1,296	1,0964
1,11	0,849	0,5580	1,48	1,071	0,7976	1,85	1,303	1,1036
1,12	0,855	0,5636	1,49	1,078	0,8050	1,86	1,309	1,1149
1,13	0,861	0,5692	1,50	1,084	0,8125	1,87	1,315	1,1242
1,14	0,867	0,5749	1,51	1,090	0,8200	1,88	1,322	1,1336
1,15	0,873	0,5806	1,52	1,096	0,8276	1,89	1,328	1,1430
1,16	0,878	0,5864	1,53	1,102	0,8352	1,90	1,334	1,1525
1,17	0,884	0,5922	1,54	1,108	0,8429	1,91	1,341	1,1621
1,18	0,890	0,5981	1,55	1,115	0,8506	1,92	1,347	1,1716
1,19	0,896	0,6040	1,56	1,121	0,8584	1,93	1,353	1,1812
1,20	0,902	0,6100	1,57	1,127	0,8662	1,94	1,360	1,1909
1,21	0,908	0,6160	1,58	1,133	0,8741	1,95	1,366	1,2006
1,22	0,914	0,6221	1,59	1,140	0,8820	1,96	1,372	1,2104
1,23	0,920	0,6282	1,60	1,146	0,8900	1,97	1,379	1,2202
1,24	0,926	0,6344	1,61	1,152	0,8980	1,98	1,385	1,2301
1,25	0,932	0,6406	1,62	1,158	0,9061	1,99	1,391	1,2400
1,26	0,938	0,6469	1,63	1,164	0,9142	2,00	1,398	1,2500
1,27	0,944	0,6532	1,64	1,171	0,9224	2,01	1,404	1,2600
1,28	0,950	0,6596	1,65	1,177	0,9306	2,02	1,411	1,2701
1,29	0,956	0,6660	1,66	1,183	0,9389	2,03	1,417	1,2803
1,30	0,962	0,6725	1,67	1,189	0,9472	2,04	1,423	1,2904
1,31	0,968	0,6790	1,68	1,196	0,9556	2,05	1,430	1,3006
1,32	0,974	0,6856	1,69	1,202	0,9640	2,06	1,436	1,3109
1,33	0,980	0,6922	1,70	1,208	0,9725	2,07	1,442	1,3213
1,34	0,986	0,6989	1,71	1,215	0,9810	2,08	1,449	1,3316
1,35	0,992	0,7056	1,72	1,221	0,9896	2,09	1,455	1,3421
1,36	0,998	0,7124	1,73	1,227	0,9982	2,10	1,462	1,3525
1,37	1,004	0,7192	1,74	1,233	1,0069	2,11	1,468	1,3630
1,38	1,010	0,7261	1,75	1,240	1,0156	2,12	1,474	1,3736
1,39	1,017	0,7330	1,76	1,246	1,0244	2,13	1,481	1,3848
1,40	1,023	0,7400	1,77	1,252	1,0332	2,14	1,487	1,3949
1,41	1,029	0,7470	1,78	1,258	1,0421	2,15	1,493	1,4051
1,42	1,035	0,7541	1,79	1,265	1,0510	2,16	1,500	1,4164
1,43	1,041	0,7612	1,80	1,271	1,0600	2,17	1,506	1,4277
1,44	1,047	0,7684	1,81	1,277	1,0690	2,18	1,513	1,4381
1,45	1,053	0,7756	1,82	1,284	1,0781	2,19	1,519	1,4490
1,46	1,059	0,7829	1,83	1,290	1,0872	2,20	1,526	1,4600

$\frac{b}{h}$	$\frac{Q}{h_1}$	$\frac{r}{h}$	$\frac{b}{h}$	$\frac{Q}{h_2}$	$\frac{b}{r}$	$\frac{r}{h}$	$\frac{Q}{h_2}$	$\frac{r}{h}$
2,21	1,532	1,4710	2,59	1,777	1,9270	2,97	2,024	2,4552
2,22	1,538	1,4821	2,60	1,784	1,9400	2,98	2,031	2,4701
2,23	1,545	1,4932	2,61	1,790	1,9530	2,99	2,037	2,4850
2,24	1,551	1,5044	2,62	1,797	1,9661	3,00	2,044	2,5000
2,25	1,558	1,5156	2,63	1,803	1,9792	3,01	2,050	2,5150
2,26	1,564	1,5269	2,64	1,809	1,9924	3,02	2,057	2,5301
2,27	1,570	1,5382	2,65	1,816	2,0056	3,03	2,063	2,5452
2,28	1,577	1,5496	2,66	1,822	2,0189	3,04	2,070	2,5604
2,29	1,583	1,5611	2,67	1,829	2,0232	3,05	2,076	2,5756
2,30	1,590	1,5725	2,68	1,835	2,0456	3,06	2,083	2,5909
2,31	1,596	1,5840	2,69	1,842	2,0590	3,07	2,089	2,6062
2,32	1,602	1,5956	2,70	1,848	2,0725	3,08	2,096	2,6216
2,33	1,609	1,6072	2,71	1,855	2,0880	3,09	2,103	2,6370
2,34	1,615	1,6189	2,72	1,861	2,0996	3,10	2,109	2,6525
2,35	1,622	1,6306	2,73	1,868	2,1132	3,11	2,116	2,6680
2,36	1,628	1,6424	2,74	1,874	2,1269	3,12	2,122	2,6836
2,37	1,635	1,6542	2,75	1,881	2,1406	3,13	2,129	2,6992
2,38	1,641	1,6661	2,76	1,888	2,1544	3,14	2,135	2,7149
2,39	1,648	1,6780	2,77	1,894	2,1682	3,15	2,142	2,7306
2,40	1,654	1,6900	2,78	1,900	2,1821	3,16	2,148	2,7464
2,41	1,661	1,7020	2,79	1,907	2,1960	3,17	2,155	2,7622
2,42	1,667	1,7141	2,80	1,913	2,2100	3,18	2,161	2,7781
2,43	1,674	1,7262	2,81	1,920	2,2240	3,19	2,168	2,7940
2,44	1,680	1,7384	2,82	1,927	2,2381	3,20	2,175	2,8100
2,45	1,686	1,7500	2,83	1,933	2,2522	3,21	2,181	2,8260
2,46	1,693	1,7629	2,84	1,940	2,2664	3,22	2,188	2,8421
2,47	1,700	1,7752	2,85	1,946	2,2806	3,23	2,194	2,8582
2,48	1,706	1,7876	2,86	1,953	2,2949	3,24	2,201	2,8744
2,49	1,712	1,8000	2,87	1,959	2,3092	3,25	2,207	2,8902
2,50	1,719	1,8125	2,88	1,966	2,3236	3,26	2,214	2,9069
2,51	1,725	1,8250	2,89	1,972	2,3380	3,27	2,220	2,9232
2,52	1,732	1,8376	2,90	1,979	2,3525	3,28	2,227	2,9396
2,53	1,738	1,8502	2,91	1,985	2,3670	3,29	2,233	2,9560
2,54	1,745	1,8629	2,92	1,992	2,3816	3,30	2,240	2,9725
2,55	1,751	1,8756	2,93	1,998	2,3962	3,31	2,247	2,9890
2,56	1,758	1,8884	2,94	2,005	2,4109	3,32	2,253	3,0056
2,57	1,764	1,9012	2,95	2,011	2,4256	3,33	2,260	3,0222
2,58	1,770	1,9141	2,96	2,018	2,4404	3,34	2,266	3,0389

$\frac{b}{h}$	$\frac{Q}{h^2}$	$\frac{r}{h}$	$\frac{b}{h}$	$\frac{Q}{h^2}$	$\frac{r}{h}$	$\frac{b}{h}$	$\frac{Q}{h^2}$	$\frac{r}{h}$
3,35	2,273	3,0556	3,41	2,312	3,1570	3,46	2,345	3,2426
3,36	2,280	3,0724	3,42	2,319	3,1741	3,47	2,352	3,2602
3,37	2,286	3,0892	3,43	2,325	3,1912	3,48	2,358	3,2776
3,38	2,292	3,1061	3,44	2,332	3,2084	3,49	2,365	3,2950
3,39	2,299	3,1230	3,45	2,339	3,2256	3,50	2,371	3,3125
3,40	2,306	3,1400						

Таким образом $h_n = C_{n-1} - z$, зная h_n и Q_n по таблице Кирхберга, находим b_n и r_n , которые вполне определяют построение калибра.

Определение площадей овалов и квадратов производится следующим образом.



Фиг. 66.

Коэффициент приращения вытяжки (f_n) при переходе от квадрата к ближайшему большому овалу Кирхберг рекомендует делать

$$f_n = 0,7 \sqrt{160 \sqrt{Q_n}},$$

где Q_n есть площадь квадрата.

Поэтому вытяжка овала в квадратном калибре:

$$\mu = 1 + \frac{f_n}{100}$$

и площадь овала:

$$Q_{n+1} = \left(1 + \frac{f_n}{100}\right) \cdot Q_n$$

Имея площадь овала, легко по таблице 29 определить все его конструктивные элементы.

Площадь овала Q_{n+1} дает возможность определить приращение вытяжки при переходе от овала к ближайшему большему квадрату:

$$f_{n+1} = \sqrt{160 \sqrt{Q_{n+1}}}$$

а, следовательно, коэффициент вытяжки квадрата в овальном калибре и площадь квадрата:

$$Q_{n+2} = \left(1 + \frac{f_{n+1}}{100}\right) \cdot Q_{n+1}.$$

По площади квадрата легко определяются конструктивные элементы квадратного калибра. Сторона квадрата

$$c = \sqrt{Q}.$$

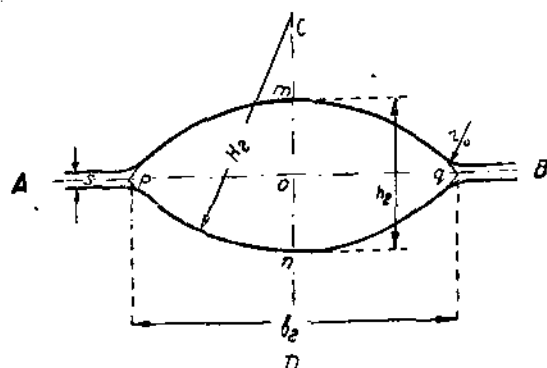
Диагонали квадрата, являющиеся высотой и шириной калибра h и b , равны:

$$h = 1,41 c.$$

Пример. Определим ряд овальных и квадратных калибров, исходя из выпускного квадрата $c_1 = 11,35$ мм.

Площадь квадрата

$$Q_1 = 11,35^2 = 129,5 \text{ мм}^2.$$



Фиг. 67.

Коэффициент приращения при переходе к овалу:

$$f_1 = 0,7 \cdot \sqrt{160 \cdot 11,35} = 29,4 \text{ \%}.$$

Коэффициент вытяжки:

$$\mu_1 = 1,294.$$

Площадь овала:

$$Q_2 = 1,294 \cdot 129,5 = 167,8 \text{ мм}^2.$$

Толщина овала:

$$h_2 = 11,35 - 0,05 \cdot 29,4 = 9,88.$$

Находим

$$\frac{Q_2}{h_2^2} = 1,72.$$

По таблице Кирхберга (таблица 29) находим соответственно 1,72 значение отношений:

$$\frac{b_2}{h_2} = 2,5 \text{ и } \frac{r_2}{h_2} = 1,81.$$

Отсюда

$$b_2 = 2,5 \cdot 9,88 = 24,35 \text{ мм}$$

$$r_2 = 1,81 \cdot 9,88 = 17,41 \text{ мм}.$$

Вычерчивание полученного овала можно произвести следующим образом (фиг. 67).

Проведя взаимно перпендикулярные конструкционные оси AB и CD , откладываем от O вверх и вниз по $\frac{1}{2} h_2$ и влево и вправо по $\frac{1}{2} b_2$. Через точки p, m, q и p, n, q радиусом, равным r_2 , проводим дуги pmq и $pinq$.

Между валками делается зазор s = от 2 до 3 мм. Закругления радиусом $r_0 = 0,1 b_2$, заканчивают профиль калибра.

Площадь овального калибра, вычерченного при помощи указанного приема, отвечает площади овала, определяемой по таблице Кирхберга (таблица 29).

Расчет следующего квадрата дает приращение коэффициента вытяжки:

$$f_3 = \sqrt{160 \sqrt{167,8}} = 46\%.$$

Коэффициент вытяжки квадрата в овальном калибре:

$$\mu = 1,46$$

Площадь квадрата:

$$Q_3 = 1,46 \cdot 167,8 = 244,8.$$

Сторона квадрата:

$$c_3 = \sqrt{244,8} = 15,7 \text{ мм.}$$

Диагонали квадрата:

$$h_3 = b_3 = 1,41 \cdot 15,7 = 20,5 \text{ мм.}$$

Вычерчивание квадратного калибра можно произвести следующим образом (фиг. 68).

На взаимно перпендикулярных конструкционных осях AB и CD откладываются h_3 и b_3 ; полученные точки m , n , p и q соединяются прямыми линиями.

Между валками делается зазор $s = 2-3$ мм.

Закругления радиусом $r_0 = 0,1 h_3$ заканчивают профиль калибра.

Приведенный расчет в дальнейшем даст следующий овал, затем квадрат и т. д., но требует контроля угол захвата, который не должен быть больше 30° . Если угол превышает 30° , то необходимо в дальнейшем *прекратить* калибровку по системе овал-квадрат и обратиться или к ромбическим, или к стрельчатым, или к плоским ручьям, или увеличить диаметр валков. Определим для примера угол захвата в случае только что проделанных определений размеров овального и квадратного калибров, предполагая, что калибровка производится в валах диаметром $D = 300$ мм.

Овальный калибр имеет диаметр валка в глубине ручья $d = 300 - 9,88 = 290$ мм.

В него поступает квадрат, как показано на фиг. 29 со стороной $c = 15,7$ мм, следовательно, вертикальное обжатие $\Delta - \delta = 15,7 - 9,88 = 5,82$ мм. Отсюда при помощи формулы $\Delta - \delta = d(1 - \cos \varphi)$ определяем φ .

Определение удобно производить следующим образом: находим

$$\cos \varphi = 1 - \frac{\Delta - \delta}{d} = 1 - \frac{5,82}{290} = 0,88.$$

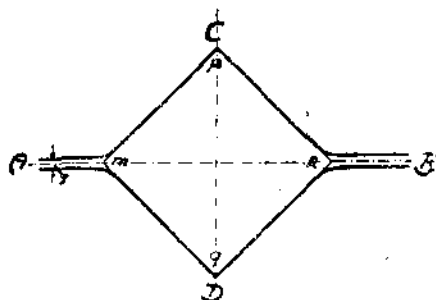
По найденному значению $\cos \varphi$ в таблице логарифмов находим значение φ , так как $\cos 30^\circ = 0,866$, если $1 - \frac{\Delta - \delta}{d}$ окажется меньше этой величины, то $\varphi > 30^\circ$. В данном случае $\cos \varphi = 0,88$ и $\varphi < 30^\circ$.

Точно также определяем значение φ для квадратного калибра.

Диаметр валка в глубине квадратного ручья равен $d = 300 - 1,41 \cdot 11,35 = 284$ мм.

В него поступает овал ребром $b_2 = 24,35$ мм.

Вертикальная диагональ квадратного калибра $h_1 = 1,41 \cdot 11,35 = 16$ мм, поэтому вертикальное обжатие $\Delta - \delta = 24,35 - 16 = 8,35$ мм. Отсюда $\cos \varphi =$



Фиг. 68.

$= 1 - \frac{8,35}{284} = 0,8716$ и $\varphi < 30^\circ$. В обоих случаях предельный угол захвата не достигнут и, следовательно, можно продолжать далее калибровку по системе овал-квадрат.

Если путем только что изложенного приема вычисления ряда калибров по системе овал-квадрат получаются предельные углы захвата, то дальнейший расчет можно вести по примеру системы квадрат-ромб, т. е. вычисляя ряд квадратов и вставляя между ними ряд овалов с постоянным коэффициентом вытяжки от калибра к калибру, какой позволяют диаметры валков или углы захвата. Например, пусть требуется перейти от квадрата 50×50 к квадрату 100×100 , когда при расчете против направления прокатки выяснилось неудобство применения дальнейшего роста коэффициентов вытяжки.

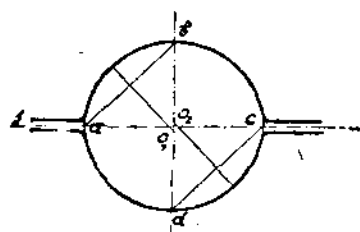
Приняв уже ранее выбранные (см. пример расчета калибровки по системе квадрат-ромб) коэффициенты вытяжки $\mu_0 = 1,586$ и $\mu = 1,26$, получим уже ранее определенный ряд площадей калибров (см. таблицу 22).

ГЛАВА V

КАЛИБРОВКА КОНЕЧНОГО ПРОДУКТА ПРОСТЕЙШИХ ПРОФИЛЕЙ

Чистовые или отделочные калибры круглого и квадратного железа

Форма чистовых калибров зависит от формы профиля продукта прокатки и представляет почти точную копию последнего.



Фиг. 69.

Так как прокатка заканчивается при температуре около $700-800^\circ$, то продукт прокатки при охлаждении до обыкновенной температуры сокращается в своих поперечных размерах на некоторую величину в зависимости от коэффициента расширения железа и температуры конца прокатки. Достаточно точно можно обеспечить размеры профиля, если линейные размеры профиля для получения соответствующих размеров ручья умножить на $1,015-1,013$, при чем

погрешность не превышает десятых долей процента.

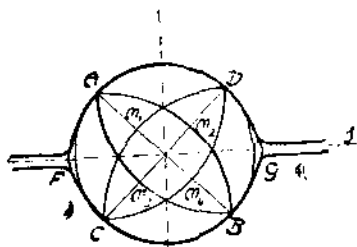
Кроме этого отступления от точной копии профиля продукта, профиль ручья имеет еще некоторые другие отступления, связанные с формой профиля и влиянием на его деформацию термических условий прокатки и охлаждения.

Такого рода отступления приходится рассматривать индивидуально на каждом профиле. Рассмотрим простейшие профили.

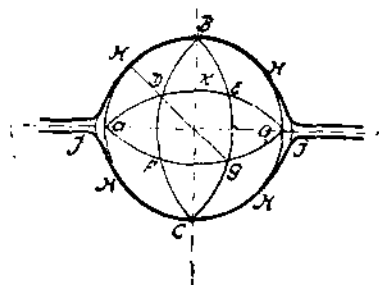
Круглый чистовой калибр. Для круглого железа Кирхберг рекомендует придавать чистовому калибру форму, отступающую от окружности так, что вертикальный диаметр делается равным $d_1 = 1,01 d$, а горизонтальный $b_1 = 1,02 d$, где d — размер профиля в холодном состоянии. Основанием этого является то обстоятельство, что когда овальная полоса из пред-отделочного калибра подается в чистовой круглый калибр, то верхняя и нижняя части ее, соприкасающиеся во время прокатки с валками, охлаждаются сильнее, чем боковые части, не соприкасающиеся со стенками ручьев. Вследствие этого усадка металла в горизонтальном направлении оказывается несколько большей, чем в вертикальном направлении; отсюда вертикальную ось следует делать соответственно меньше горизонтальной. Впрочем, для очень малых размеров круглого железа, как, например, для проволоки, указанная разница в диаметрах столь ничтожна, что ее можно не принимать в расчет при конструировании калибра. Для толщины круглого железа больше 10 мм можно пользоваться при вычерчивании калибра следующими приемами (фиг. 69).

1. Круглое железо в проводках. На взаимно перпендикулярных осях наносим вертикально $d_1 = 1,01 d$ и горизонтально $b_1 = 1,02 d$. Соединяя точки a и b прямой линией, восставляем в середине этого отрезка перпендикуляр до пересечения с линией bd в точке O_1 , которая служит центром окружности, очерчивающей верхнюю половину калибра. Поступая также с линией cd , находим центр O_2 нижней половины окружности калибра.

Зазор между валками s делается 1—2 мм в зависимости от размера калибра. Радиус закругления r делается равным $0,1 d$.



Фиг. 70.

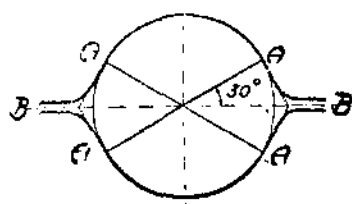


Фиг. 71.

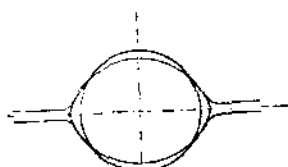
2. Для более крупных профилей круглого железа без проводок калибр вычерчивается следующим образом. Проводят круг диаметром, равным увеличенному коэффициенту усадки $1,015$ (фиг. 70), и два диаметра AB и CD под углом 45° к горизонтальной оси. Из концов этих диаметров, как из центров, проводят дуги CMD и AMB . Из точек M , как из центров, радиусами M_1C , M_2B , M_3D и M_4A проводят соответственно дуги CF , AF , BG и DG .

Зазор между валками делается 2—5 мм, смотря по величине калибра. Закругления радиусом $r = 0,1 d$ заканчивают профиль калибра.

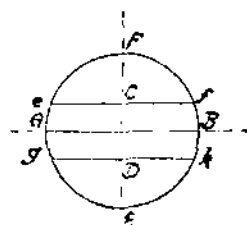
3. Применяется также следующий прием вычерчивания. Чертят круг требуемого размера (фиг. 71) из точек a , a_1 радиусом aB чертят дуги BC и тем же самым радиусом из точек B и C — дуги, пересекающие первые в точках D , E , F и G ; из этих точек радиусом GH чертят кривые



Фиг. 72.



Фиг. 73.



Фиг. 74.

III. Радиусы закруглений при I равны половине отрезка BK . В результате получается построение тождественное с предыдущим.

4. Встречается также следующее построение. Проводят в данном круге два диаметра под углом 30° к горизонтальной оси. Через концы диаметра проводят касательные AB или дуги, очерченные радиусом AA из точек A (фиг. 72). Радиус закруглений при $B = 0,1 d$.

Предотделочный овальный калибр для круглого железа от 25 до 50 мм при $\mu_n = 1,02—1,03$ можно вычертить следующим образом.

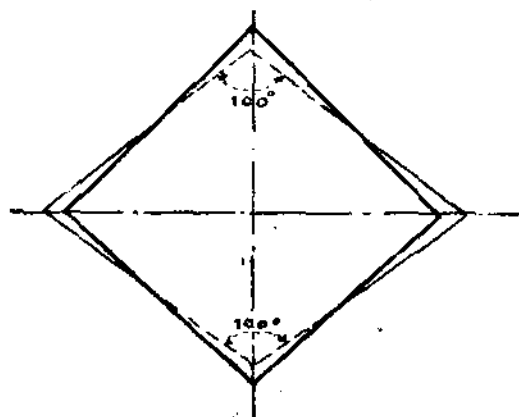
Чертим круг (фиг. 73), для которого назначен овал. Делим диаметр его на три равные части. Радиусом, равным двум таким частям, чертим круг (фиг. 74). Вертикальный диаметр этого круга также делим на три равные части, через C и D проводим линии, параллельные горизонтальному диаметру AB . Сечения $CeFE$ и $DhEg$, сложенные вместе, образуют искомый овал

(фиг. 73), который снабжается соответствующим зазором и радиусом закругления, как у овальных калибров вообще.

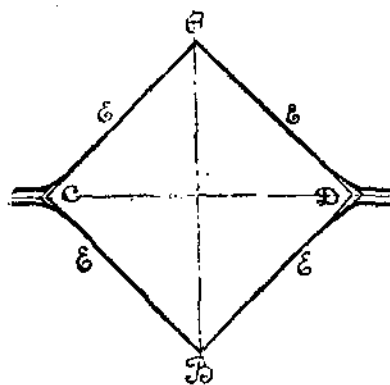
Чистовой квадратный калибр вычерчивается следующим образом.

Крупные сорта квадратного железа катаются без проводок и проходят дважды отделочный калибр, при чем при вторичном проходе полоса поворачивается на 90° .

Мелкие сорта квадратного железа катаются в проводках, и в этом случае отделочному калибру предшествует ромбический калибр.



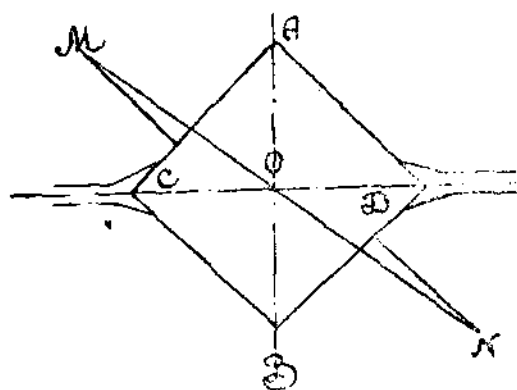
Фиг. 75.



Фиг. 76.

При крупных сортах квадратного железа углы при вершине ручья, т. е. в A и B (фиг. 75) делают больше 90° , и чем меньше требуемый профиль, тем больше угол, величина которого колеблется между $91\frac{1}{2}^\circ$ и $90\frac{1}{2}^\circ$.

Практически это достигается тем, что горизонтальная диагональ уширяется против вертикальной на 1 мм, вертикальная же определяется расчетом, как диагональ квадрата, т. е. равна 1,41 с. В дальнейшем поступают



Фиг. 77.

следующим образом. На сторонах полученного ромба откладывают от вершин горизонтальных углов D и C отрезки ED и EC , равные $\frac{1}{3}$ стороны ромба, и из точек устриют калибр приблизительно на 5% в каждую сторону посредством прямой или дуги окружности радиуса $r = 0,5 AB - 0,5 S$ (фиг. 75). Зазор между валками $S = 2 - 3$ мм.

Другой способ определения упомянутых уширений состоит в том, что через точки E проводят линии, пересекающиеся под углом 110° (фиг. 76).

Применяется также следующий прием (фиг. 77). При A и B строится угол $90\frac{1}{2}^\circ - 91\frac{1}{2}^\circ$. Из точек A и B , как из центров, описываются дуги OC радиусом, равным AO и BO . В точках C восставляются перпендикуляры к сторонам ромба и из точек M радиусом, равным стороне квадрата, зачерчиваются дуги из точки C , которые и завершают построение калибра после нанесения зазора между валками.

При мелких сортах квадратного железа (25 мм и меньше), которые катаются в проводках, боковые углы равны 90° , и калибр не уширяется. Зазор между валками в этом случае равен 1 мм.

Подготовительными калибрами для кругового и квадратного железа обычно служат калибры по системе овал-квадрат, с построением которых мы уже познакомились выше.

Чистовому калибру круглого железа предшествует один, а иногда два овала: овал и „предовал“. Овалу или „предовалу“ предшествует квадрат с притупленными углами. После этого следует обычная калибровка, описанная выше для подготовительных станов, большей частью по системе квадрат-овал.

Чистовому калибру квадратного железа предшествует один или два ромба и затем квадрат с непритупленными углами. Далее следует, как и для круглого, большей частью калибровка по системе квадрат-овал.

Ниже приводятся таблицы для построения трех последних калибров для круглого и квадратного железа. Эти таблицы (таблицы 30 и 31) основаны на практических данных, собранных мною по данным разных авторов.

Для каждого размера круглого (квадратного) железа по приведенной таблице должен быть выточен специальный предотделочный овальный (ромбический) калибр, пригодный только для данного размера круглого (квадратного) железа; иногда также бывает необходимо построить еще следующий калибр определенных размеров. Остальные калибры обычно являются общими для нескольких размеров круглого (квадратного) железа.

Таким образом, при прокатке того или другого размера железа обязательно приходится вновь устанавливать или сменять обязательно только последние 2—3 вала, прочие же валки остаются несменяемыми для ряда профилей.

Чем больше профилей могут обслуживать одни и те же калибры подготовительного и обжимного станов, тем лучше, так как при этом сокращается парк валков, уменьшается время на смену и установку валков и повышается, следовательно, коэффициент использования стана.

Калибровка круглого железа и проволоки

При выточке чистовых калибров круглого железа руководствуются описанными выше правилами.

Круглое железо от 4 до 12 мм в диаметре называется *проволокой*, если поступает на рынок в виде бунтов. Чаше, однако, катается проволока размером от 5 до 8 мм. Круглое железо выше 8 мм чаще поступает на рынок в виде прутков.

На наших заводах проволока тоньше 5 мм не катается, но в Германии и в Америке на некоторых заводах производится катанная проволока до 4 мм толщиной.

Толщина проволоки обычно имеет переходы в 0,5 мм.

Размеры предотделочного овала и квадрата определяются приведенной дальше (см. стр. 182 табл. 30) табличкой для проволоки и круглого железа, где

d — диаметр готового продукта в холодном состоянии,

h — высота овала в калибре,

b — ширина овала в калибре.

Для проволоки небольшие отклонения от приведенных соотношений в высоте овалов и квадратов не имеют существенного значения, так как компенсируются установкой (настройкой) валков, поэтому можно применять следующие формулы для элементов предотделочных овалов круглого железа:

$$h = 0,99d - 1,6 \text{ мм}$$

$$b = 1,3d + 2 \text{ мм}$$

при этом считается, что ширина выходящего из калибра прутка $b_p = 1,18d + 2$ мм, так как овальный калибр не заполняется вполне¹. Для прида-

¹ Тафель рекомендует $b - b_p =$ от 1 до 3 мм.

ния овалу точной высоты между валками оставляется зазор s , величина которого должна превышать „игру“ валков. „Игра“ валков получается вследствие зазоров у подушек, а также вследствие прогиба валков.

Для круглого железа принимают зазор:

$$\begin{aligned} s &= 0,5 - 1 \text{ мм для проволоки,} \\ s &= \text{до } 4,5 \text{ мм для } \varnothing = 40 \text{ мм} \\ s &= \text{до } 13 \text{ мм для } \varnothing \text{ до } 200 \text{ мм} \end{aligned}$$

Размер приведенных зазоров рассчитан также на возможность установки валков при прокатке в данном калибре более тонких размеров в пределах градации нормальных размеров.

Градация круглого железа:

$$\begin{aligned} 8 - 40 \text{ мм} &\text{ через } 1 \text{ мм} \\ 40 - 60 \text{ мм} &\text{ " } 2 \text{ мм} \\ 60 - 150 \text{ мм} &> 5 \text{ мм} \end{aligned}$$

При пропуске в чистовом калибре овал, поставленный на ребро при помощи проводки, имеет высоту больше диаметра круглого калибра, но уже его на величину уширения.

Уширение принимается для проволоки 1,5—2 мм, сообразно чему и выбирается толщина овала. Если при прокатке в чистовом калибре получается заусенка, то *уменьшают* толщину овала соответствующей установкой валков в предотделочной клетке. Наоборот, если чистовой калибр не выполняется, выпуская овальную проволоку, то *увеличивают* соответственно толщину овала также установкой валков.

Имея в виду сказанное, Кирхберг дает для всех размеров круглого железа от 10 до 165 мм уширение, равное 2 мм.

Форма овала имеет то значение, что он не только должен иметь требуемую для избранной вытяжки площадь сечения, но обеспечивает также хорошее держание его проводкой и облегчает вальцовщику задачу полдсы в проводку.

Чем овал более сплюснут, тем легче работа вальцовщика, тем лучше предотвращается свертывание штуки в ручье, но зато тем больше, следовательно, будет отступление от точного размера продукта прокатки.

Приведенные обстоятельства объясняют выработанные практикой отношения $\frac{b}{h}$ в овальном калибре, помещенные в таблице 30.

Таблица 30

d	О в а л		С т о р о н а к в а д р а т а
	$\frac{h}{d}$	$\frac{b}{h}$	
5—7	0,69—0,78	2,35—2,5	$c=d$
7—9	0,75—0,85	1,75—2,10	$c=d$
9—11	0,80—0,85	1,67—1,80	$c=d+(\text{от } 0,25 \text{ до } 0,5 \text{ мм})$
12—15	0,80—0,87	1,6—1,7	$c=d+1 \text{ мм}$
16—20	0,87—0,90	1,5—1,6	$c=d+2 \text{ мм}$
21—25	0,90—0,92	1,47—1,5	$c=d+3 \text{ мм}$
26—35	0,90—0,94	1,47—1,5	$c=d+3 \text{ мм}$
36—40	0,90	1,4—1,5	$c=d+(\text{от } 4 \text{ до } 7 \text{ мм})$
42—50	0,91	1,4	$c=d+(\text{от } 8 \text{ до } 12 \text{ мм})$
52—60	0,92	1,4	$c=d+(\text{от } 12 \text{ до } 15 \text{ мм})$
65—80	0,92	1,4	" " "
80	0,93	1,4	" " "

Размеры предотделочного квадрата должны быть более точно определены, чем размеры овала, так как он обеспечивает требуемую площадь сечения металла в овале, несмотря на регулировку толщины последнего настройкой валков.

При пропуске квадрата в утолщенном установкой валков овале штука уширяется меньше, наоборот, пропуск квадрата в сжатом овале сопровождается большим уширением. Таким образом, принимая в себя определенного размера квадрат, овальный калибр независимо от установки валков выпускает из себя определенное по площади сечение почти в равновеликое ему круглое сечение.

Таким образом, точность предотделочного квадрата обеспечивает точность круглого профиля. В таблице 30 приведены размеры предотделочного квадрата, которых рекомендуется придерживаться.

В отношении проволоки сказанное подтверждается действующими примерами калибровки трех последних ручьев для проволоки, собранными различными авторами и сведенными в таблице 31.

Таблица 31

№№	Авторы	Квадрат	Овал	Круг
		c	b x h	d
I	Фейлянд	5	8,66 x 3,4	5
II	Брово	5,25	8,7 x 3,5	5
III	"	5	8,0 x 3,75	5
IV	Вюст и Бауэр	5	8,0 x 3,5	5
V	"	5	8,2 x 3,5	5
VI	"	5	8,0 x 3,0	5
VII	"	5	8,5 x 3,5	5
VIII	"	5	8,75 x 3	5
IX	Hütte для мет.	5	8,5 x 3,8	5
X	"	5,5	9,5 x 4,0	5,5
XI	"	6	10,5 x 4,3	6
XII	"	6,5	11,0 x 4,5	6,5
XIII	"	7	12,0 x 5,0	7
XIV	"	8	14,0 x 6,0	8
XV	"	9,5	14,0 x 6,75	9
XVI	"	10,5	16,0 x 7,5	10

Из таблицы мы видим, что в то время, как для того же размера проволоки (5 мм) размеры овала различны, размеры квадрата вполне постоянны за исключением одного случая Брово.

Точность профиля проволоки зависит от установки овала, от длины проволоки и от температуры заготовки. Колебание температуры заготовки влечет за собой большую игру валков, большее уширение, а следовательно и большее выполнение чистового калибра. Чем длиннее проволока, тем больше разница температуры переднего и заднего конца проволоки, а следовательно, и разница в форме сечения ее по длине; горячий конец ее не будет выполнен, проволока будет овальная; задний конец может иметь заусенку вследствие переполнения калибра. Для прокатчика выгоднее производить овальную проволоку во избежание безусловного брака проволоки с заусенками, но это противоречит интересам заказчика. Это обстоятельство ставит предел длине прокатываемой проволоки и затрудняет повышение производительности стана. Возможно большая скорость прокатки обеспечивает высокую или более равную температуру проволоки по длине и способствует понижению брака и овальности.

Калибровка следующих, так называемых вытяжных ручьев, производится по знакомой нам системе квадрат-овал. Однако вытяжки здесь рекомендуется брать несколько меньшие, чем при прокатке более тяжелых профилей, во избежание слишком быстрого износа калибров и, следовательно, частой смены валков.

При вычислении площадей вытяжных калибров следует пользоваться приведенными ранее формулами Кирхберга для коэффициента приращения вытяжки от квадрата к овалу:

$$f_n = 0,7 \sqrt{16 \sqrt{Q_n}}$$

и от овала к квадрату:

$$f_n = \sqrt{160 \sqrt{Q_n}}$$

Для определения линейных размеров овальных калибров проволочного стана можно пользоваться следующей таблицей (таблица 32).

Таблица 32

$\frac{b}{h}$	$\frac{r}{h}$	$\frac{O}{h^2}$
1,67	0,9445	1,1870
1,70	0,9730	1,2083
1,75	1,0156	1,2400
1,80	1,0600	1,2700
2,08	1,3333	1,4512
2,18	1,4375	1,5148
2,25	1,5156	1,5585
2,30	1,5725	1,5967
2,35	1,6300	1,6230
2,40	1,6900	1,6553
2,414	1,7069	1,6625
2,44	1,7425	1,6792
2,50	1,8125	1,7185
2,75	2,1400	1,8800
2,85	2,2800	1,9400
3,00	2,5000	2,0356

Кроме указанных выше приемов расчета ряда калибров при калибровке приходится решать задачу сведения к минимуму числа калибров, а следовательно, и парка валков, способных обслуживать прокатку возможно более широкого сортамента на данном стане.

Поэтому следует вырабатывать не калибровку отдельных профилей, а калибровку валков данного стана. Это в особенности относится к проволочным, мелкосортным и среднесортным станам.

Для пояснения сказанного приведем калибровку проволочного стана, при этом мы остановимся и на ряде других факторов, определяющих калибровку.

Калибровка проволочного стана

Проволока прокатывается: 1) из слитков размером 175×175 или 150×150 и длиной от 850 до 1000 мм; 2) из обжатой в блюминге болванки размером от 125×125 до 90×90 при длине от 900 до 1700 мм, иногда 2500 мм; 3) из заготовки, получаемой в непрерывных станах размером от 67×67 до 38×38 мм, большей частью 50×50 мм, при длине преимущественно от 3,5 до 9 м, но также реже при длинах от 1,7 до 3,2 м.

Сказанное иллюстрируется таблицей 33, где приведен список наиболее производительных проволочных станков.

Разнообразие размеров исходного материала зависит от системы стана и принятого веса бунта проволоки.

При прокатке проволоки имеют распространение следующие системы станков:

- 1) ступенчатые станы Гаррета;
- 2) полунепрерывные станы;
- 3) непрерывные станы Моргана.

По данным Вюста и Бауэра на всех этих станах получается проволока овальной с отступлением от круга по горизонтальному диаметру на станах:

- 1) Гаррета от +0,4 до -2,4 %;
- 2) полунепрерывные „ +3,0 до -5,0 %;
- 3) непрерывные „ +0,6 до -7,8 %.

Таблица 33

Исходный материал	Сечение мм	Длина мм	Вес кг	Завод
Слитки	175×175	1000	275	Зав. им. Дзержинского
"	150×150	850	139	" " Петровского
Обж. болв.	125×125	1400	165	Rombas
"	"	1500	180	Niederrheinische H.
"	120×120	1700	180 ¹	Большинство немецких заводов
"	120 120	450	51	Mohon
"	100×100	1000	79	Braddock
"	"	900	72	Cleveland
"	"	1700	136	Alabama City
"	"	1250	100	Cleveland
"	95×95	2550	180	Esch Arbed
"	90×90	1200	75	Havre
Заготовка	67×67	9000	300	Esch Belval
"	66 66	1700	58	Neuves - Maisons
"	63×63	2500	75	Норвежский
"	63×63	9000	270 ²	Непрерывные станы
"	55×55	2600	50	Hoesch
"	50×50	3200	60	Neunkirchen
"	"	4200	80	Commercy
"	"	9000	170	Ougrée
"	"	8200	160	Eschweiler
"	"	4450	105	Manchester
"	47×47	3400	53	Angers
"	"	8500	145	Poc. Monton
"	44×44	9000	135	Longwy
"	38×38	9000	102	Farrell Am. St. a. Wirece

Во избежание заусенок стараются придерживаться возможно меньшего отступления в сторону увеличения горизонтального диаметра, поэтому отступление в сторону уменьшения горизонтального диаметра достигает более высоких значений. Как уже было указано выше, эти отступления регулируются установкой валков овального предотделочного калибра.

Если обратиться к абсолютным размерам отклонений, то максимальное отклонение для наиболее ходовых размеров проволоки 5,5 и 6 мм даже на непрерывных станах составляет 0,4—0,48 мм. По техническим условиям обычно допускается овальность до 0,3 мм. Таким образом, чисто непрерывные станы должны давать больше брака.

Приведем расчет калибровки стана для прокатки проволоки диаметром от 5 до 9,5 мм из заготовки 50×50 мм.

Весь расчет помещаем в таблице 34.

Прежде всего определяем площадь Q горячего чистового профиля, принимая коэффициент 1,015, и помещаем ее в графе 2.

Так, например, горячий профиль для проволоки толщиной 5 мм определяется из диаметра 5·1,015 по формуле:

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot (5 \cdot 1,015)^2}{4} = 20,22 \text{ мм}^2$$

Для нахождения площади предотделочного овала надо выбрать коэффициент вытяжки в чистовом калибре.

Вытяжка в чистовом калибре, как уже было выяснено выше, должна быть очень небольшой. Обычно коэффициент вытяжки колеблется в пределах

$$\mu_1 = \text{от } 1,07 \text{ до } 1,15.$$

При этом, чем больше толщина проволоки, тем больше можно брать μ . Выберем, например, в данном случае $\mu = 1,08$.

¹ Из слитка или заготовки получается три мотка проволоки весом по 60 кг.

² Для толстой проволоки около 10 мм диаметром.

Таблица 44

№ калибра	Форма калибра	5 мм		5,25 мм		5,5 мм		6 мм		6,25 мм		6,5 мм		7 мм		7,5 мм		8 мм		8,5 мм		9 мм		9,5 мм	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
		ρ	Q	ρ	Q	ρ	Q	ρ	Q	ρ	Q	ρ	Q	ρ	Q	ρ	Q	ρ	Q	ρ	Q	ρ	Q	ρ	Q
I	Круглый	1,08	20,22	1,08	22,3	1,08	24,36	1,08	28,13	1,08	31,55	1,10	34,2	1,10	39,63	1,10	45,46	1,10	51,76	1,12	53,48	1,12	65,5	1,12	72,01
II	Овал	1,17	21,94	1,18	24,08	1,15	27,11	1,2	30,38	1,18	34,08	1,16	37,62	1,16	43,59	1,16	50,0	1,16	56,94	1,14	65,94	1,16	73,37	1,16	81,66
III	Квадрат	1,2	25,0	1,2	27,60	1,21	30,5	1,22	36,00	1,22	40,0	1,23	43,56	1,24	50,48	1,24	57,91	1,25	65,94	1,26	76,04	1,27	85,2	1,28	94,67
IV	Овал	1,3	30,9	1,31	34,08	1,31	37,68	1,29	44,73	1,33	49,04	1,34	53,58	1,36	62,6	1,37	71,98	1,38	82,72	1,40	95,81	1,41	108,2	1,42	121,2
V	Квадрат	1,22	40,18	1,22	44,64	1,23	49,36	1,21	57,7	1,25	65,22	1,26	71,8	1,27	85,12	1,28	98,60	—	113,74	—	134,14	—	152,55	—	172,1
VI	Овал	1,38	49,02	1,34	54,46	1,35	60,71	1,37	71,53	1,38	81,55	1,39	90,47	1,41	108,1	1,42	126,2	—	—	—	—	—	—	—	
VII	Квадрат	1,25	65,2	1,25	72,08	1,27	81,96	1,28	98,02	—	112,5	—	125,70	—	152,5	—	179,2	—	—	—	—	—	—	—	
VIII	Овал	1,38	81,5	1,39	91,23	1,4	104,03	1,42	125,46	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
IX	Квадрат	—	112,5	—	126,81	—	145,73	—	178,15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	Средн.	1,24	—	1,24	—	1,25	—	1,26	—	1,287	—	1,24	—	1,25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

Отсюда находим Q_2 для овала:

$$Q_2 = 1,08 \cdot 20,22 = 21,94 \text{ мм}^2,$$

что и ставим в графе 2.

Площадь III квадратного калибра определяется по стороне квадрата, равной диаметру проволоки, т. е.

$$Q_3 = d^2 = 5^2 = 25 \text{ мм}^2.$$

Коэффициент вытяжки квадрата в овале $\mu = \frac{Q_3}{Q_2}$, что и помещаем в графе I.

В дальнейшем для вычисления μ применяем формулу Кирхберга для приращения коэффициентов вытяжки овала в квадрате:

$$f = 0,7 \sqrt{160 \sqrt{Q_{\text{кв}}}}$$

и

$$\mu = 1 + \frac{f}{100}$$

Так $f_3 = 0,7 \sqrt{160 \sqrt{25}} = 19,9$ и $\mu = 1,199$ или 1,2 (графа I).

Отсюда площадь овала

$$Q_4 = 25 \cdot 1,2 = 30,9 \text{ мм}^2 \text{ (графа 2).}$$

Площадь квадрата Q_5 определяем по μ_4 из формулы приращения

$$f_4 = \sqrt{160 \sqrt{Q_4}} = 29,85$$

$$\mu = 1,3 \text{ (графа I).}$$

Откуда $Q_5 = 30,9 \cdot 1,3 = 40,18 \text{ мм}^2$ (графа 2). Аналогично изложенному находим по f_5

$$\mu_5 = 1,22.$$

Продолжая указанный расчет, заполняем таблицу 34 и для проволоки 5,25 мм, 5,5 мм, 6 мм, 6,25 мм, 6,5 мм, 7 мм, 7,5 мм, 8 мм, 8,5 мм, 9 мм и 9,5 мм.

Ограничиваем пока вычисление восемью калибрами, так как чистовая линия обычно не содержит более 8 пропусков.

Мы видим, что поступающий в VIII калибр квадрат имеет площадь 112,5 мм, т. е. сторону около 10,6 мм, поэтому для остальных диаметров проволоки ведем расчет лишь до получения квадрата, ближайшего к 10,6 мм.

Рассматривая таблицу, мы видим, что исходные квадраты можно разбить на следующие группы по равенству площадей:

Таблица 35

n	$\varnothing$	Q	c	$\varnothing$	Q	c	$\varnothing$	Q	c	$\varnothing$	Q	c
8	5	112,5	10,6	5,25	126,81	11,26	5,5	143,7	12,07	6	178,5	13,4
6	6,25	112,6	10,6	6,5	125,74	11,21	7	152,6	12,35	7,5	179,5	13,4
4	8	113,43	10,7	8,5	134,14	11,68	9	152,6	12,36	9,5	172,1	13,12

Из рассмотрения таблицы 35 мы видим, что исходные квадраты для всех случаев весьма близки друг к другу, а именно 10,6—10,4; можно принять в среднем для всех один исходной квадрат 12 мм.

Далее мы видим, что по числу пропусков прокатка распадается на 3 группы:

$\varnothing$ 5—6—в 8 пропусков;

$\varnothing$ 6,25—7,5—в 6 пропусков;

$\varnothing$ 8—9,5—в 4 пропусках.

Последние 3 пропуска для каждого размера проволоки должны иметь отдельные калибры. Но остальные калибры можно иметь общие для всех размеров проволоки, так как исходный квадрат можно иметь один общий для всех с сечением 144 мм² или 12×12 мм.

Для определения площадей калибров перенесем найденные в таблице 34 сечения калибров на таблицу 36.

Таблица 36

Ø	IX	VIII	VII	VI	V	IV	III	II	I
	КВ.	ОВ.	КВ.	ОВ.	КВ.	ОВ.	КВ.	ОВ.	КВ.
5	113	82	65	49,0	40	31	25	21,94	20,22
5,25	127	91	73	54	45	34	27,62	24,08	22,3
5,5	145	104	82	61	49	38	30,5	27,11	24,36
6	178	123	98	72	58	45	36,0	30,38	28,13
6,25	113	82	65	49	—	—	40,0	34,08	31,55
6,5	126	90	72	54	—	—	43,56	37,62	34,2
7,0	152	108	85	63	—	—	50,48	43,59	39,63
7,5	179,2	128	99	72	—	—	57,91	50,0	45,46
8,0	114	82	—	—	—	—	65,94	56,94	51,76
8,5	134	96	—	—	—	—	76,01	65,94	58,43
9,0	153	108	—	—	—	—	85,2	73,37	65,5
9,5	172	121	—	—	—	—	94,67	81,66	72,91
	144	100	81	60	48	37			

Найдя средние арифметические площадей в каждом вертикальном столбце, можем принять найденные площади за площади общих калибров.

Остается определить линейные размеры найденных калибров, что и делаем в таблице 37.

Таблица 37

Ø	IX	VIII	VII	VI	V	IV	III	II	I	Сред.	
	КВ.	ОВ.	КВ.	ОВ.	КВ.	ОВ.	КВ.	ОВ.	КВ.	z	μ.
5	12	7,15×23	9	5,9×15	7	4×12	5	3,5×8,75	5,08	1,58	1,28
5,25	"	"	"	"	"	"	5,25	3,70×9,1	5,33	1,63	1,26
5,5	"	"	"	"	"	"	5,5	4,00×9,6	5,58	1,58	1,25
6,0	"	"	"	"	"	"	6,0	4,40×10,2	6,09	1,69	—
6,25	"	"	"	"	—	—	6,25	4,10×10,6	6,34	1,64	—
6,5	"	"	"	"	—	—	6,5	5,00×11,0	6,60	1,60	—
7,0	"	"	"	"	—	—	7,0	5,50×11,6	7,11	1,61	—
7,5	"	"	"	"	—	—	7,5	6,01×12,0	7,61	1,60	—
8,0	"	"	—	—	—	—	8,0	6,60×12,6	8,12	1,52	—
8,5	"	"	—	—	—	—	8,5	7,2×13,0	8,63	1,43	—
9	"	"	—	—	—	—	9,25	7,8×13,7	9,14	1,33	1,25
9,5	"	"	—	—	—	—	10	8,2×14,0	9,64	1,44	1,22

Стороны квадратов определяются по формуле $c = \sqrt{Q}$ за исключением предотделочного квадрата, для которого принимаем $c = d$.

Элементы овалов h и b определяются при помощи таблицы 32, за исключением предотделочного калибра, элементы которого определяем по таблице 30, выбирая для более тонких проволок нижшие пределы отношения $\frac{h}{d}$ и высшие пределы отношения $\frac{b}{h}$, а именно примем:

$\varnothing$	5	5,25	5,5	6	6,25	6,5	7	8	8,5	9	9,5	7,5
$\frac{h}{d}$	0,69	0,70	0,71	0,73	0,74	0,75	0,77	0,81	0,83	0,85	0,85	0,79
$\frac{b}{h}$	2,5	2,45	2,40	2,3	2,25	2,2	2,1	1,9	1,8	1,75	1,7	2,0

Зная d , легко находим по отношению $\frac{h}{d}$ высоту h ; получив h , легко находим по отношению $\frac{b}{h}$ ширину b . Найденные значения b и h , а также и c для предотделочных калибров нанесем на таблице 37.

Из сопоставления вычисленной нами калибровки с приведенными в таблице 31 находим, что она совпадает с опубликованными.

Контроль на уширение z (таблица 37) показывает, что уширения получились в пределах, указанных выше для проволоки.

Для вычисления элементов овалов вытяжных ручьев чистовой линии пользуемся формулой Кирхберга для определения толщины овала:

$$h = c - 0,05f,$$

где c сторона ближайшего меньшего квадрата и f — приращение коэффициента вытяжки в нем (таблица 34).

Определив h и зная Q , пользуемся таблицей 32 для нахождения отношения $\frac{b}{h}$, а следовательно, и ширины b , как это было уже показано на примере раньше. Результаты вычислений помещены в таблице 37.

Для оценки полученных результатов приведем данные Рихарма¹ о средних вытяжках μ_n в чистовой линии и о числе пропусков в ней (n).

	n	μ_n
Стан Гаретта	8	1,27
„ немецкий	8	1,25
„ непрерывный европ.	8	1,23
„ „ амер.	8	1,22

Рассчитанная нами калибровка дает такие же результаты.

Остается прокалибровать черновые калибры для прокатки заготовки из 50×50 в 12×12 или из 100×100 в 12×12 мм.

Обычно калибровка здесь проводится по системе квадрат-овал, уже изложенной нами раньше. Поэтому здесь излишне продлевать ее вновь, приведем лишь окончательные результаты для полноты картины. (табл. 38).

Калибровка сортовых станов для прокатки круглого железа производится совершенно аналогично калибровке проволоки.

Три последних калибра для каждого размера круглого железа должны быть особыми и вычисляются при помощи таблицы 30.

Остальные калибры могут быть общими для ряда круглых сечений и вычисляются уже известными нам приемами по системе овал-квадрат

¹ Revue de Mét. 1927, № 4 — 7. Имеется русский перевод.

Таблица 38

№№	Q	ρ	Разм. калибров	Калибры
9	144	1,31	12	кв.
10	189	1,47	11-26	ов.
11	277	1,36	17	кв.
12	377	1,56	15×37	ов.
13	588	1,44	24	кв.
14	847	1,70	22×36	ов.
15	1444	1,27	38	кв.
16	1834	1,40	33×56	ов.
Исх.	2500		51	кв.

Остановимся на некоторых особенностях калибровки круглого железа за диаметром выше 13 мм.

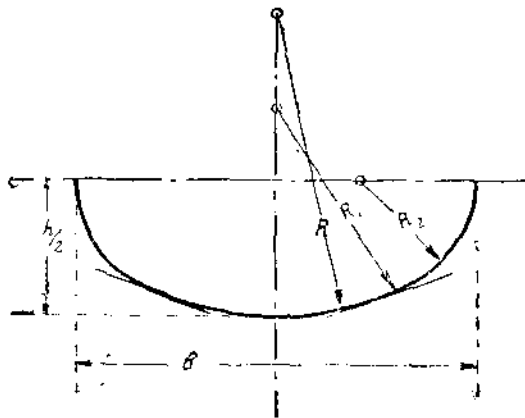
Броу для круглого железа от 13 до 36 мм рекомендует применять перед подготовительными квадратами вместо овала ромб с площадью, вычисленной как для овала. Дальнейшие калибры, как обычно, строятся по системе квадрат-овал. Упомянутую калибровку можно найти в Hütte для металлургов, стр. 858.

При калибровке круглого железа углы квадратов и ромбов обязательно закругляются.

Для сортов выше 26 мм часто один предотделочный овал делается для 2—4 чистовых калибров соседних размеров, при чем толщина овала регулируется установкой валков.

Для вычисления площади овалов Тафель рекомендует пользоваться формулой:

$$Q = \frac{26h}{3} = 1,14\pi \frac{d^2}{4} \text{ или } Q = \frac{26h}{2,85}$$



$$\begin{aligned} b &= 1,288d & R_1 &= 0,74d \\ \frac{h}{2} &= 0,465d & R_2 &= 0,38d \\ R &= d-1 \end{aligned}$$

Фиг. 78.

Вытяжку в чистовом калибре он рекомендует брать 1,14, уширение z — от 2 до 4 мм.

Так, например, для $\varphi=30^\circ$ толщина овала $h=d-z=28$ мм. Отсюда из выражения для Q :

$$b = \frac{3Q}{2h} = \frac{3 \cdot 1,14\pi \cdot 30^2}{2 \cdot 4,2 \cdot 28} \cong 43 \text{ мм.}$$

Определение овала по нашей таблице (таблица 30) дает:

$$h = 0,93 \cdot 30 = 27,9 \cong 28 \text{ мм}$$

$$b = 1,5 \cdot 28 = 42 \text{ мм}$$

Результат получается в обоих случаях почти тождественный.

Для круглого железа толще 80 мм Hütte металлургический рекомендует специально построенный овал по следующим данным (фиг. 78):

$$\begin{aligned} b &= 1,288d; & h &= 0,93d; & R &= d-1 \\ R_1 &= 0,74d; & R_2 &= 0,38d \end{aligned}$$

Прокатка круглого железа не в проводках, а в клещах, требующая совершенной калибровки, в настоящее время почти совершенно не применяется и отходит в область истории, так как: 1) она применима лишь

для штук не длиннее 8—10 м, вследствие невозможности удержать от свертывания клещами более длинные штуки; 2) не позволяет работать с большой скоростью; 3) понижает производительность стана. В виду этого калибровка для прокатки вручную здесь не рассматривается.

Употребительные переходы в диаметре торгового круглого железа по метрическому сортаменту Жеза:

до 25 мм	1 мм допуски	$\pm 0,3$ мм
25—40 "	1 " "	$\pm 0,5$ "
40—50 "	2 " "	$\pm 0,5$ "
50—60 "	2 " "	$\pm 0,75$ "
60—80 "	5 " "	$\pm 0,75$ "
80—120 "	5 " "	$\pm 1,5$ "
120—150 "	5 " "	$\pm 2,0$ "

При калибровке вытяжных ручьев последние делаются общими для ряда профилей в каждом стане.

Следует отметить, что размеры прокатываемых профилей по американской практике лучше всего следующим образом разбивать по станам (таблица 39)¹.

Таблица 39

Стан	Размеры $\varnothing$ и $\square$	Перекрытие
250	от 9,5 до 25 мм $\varnothing$	19—25 мм $\varnothing$
	" 8,5 22 " $\square$	17—22 " $\square$
300	" 19 45 " $\varnothing$	19—25 мм $\varnothing$
	" 17 40 " $\square$	17—22 " $\square$
350	" 25 65 " $\varnothing$	25—45 мм $\varnothing$
	" 22 60 " $\square$	22—40 " $\square$
450	" 38 125 " $\varnothing$	38—65 мм $\varnothing$
	" 35 110 " $\square$	35—60 " $\square$

Таблица 40

Стан	Размеры
260	8—25 мм кр.
	8—20 " кв.
300	10—35 " кр.
	10—30 " кв.
350	20—45 " кр.
	20—40 " кв.
400/450	30—55 " кр.
	30—50 " кв.
500/550	50—80 " кр.
	50—80 " кв.
600/650	60—120 " кр.
	60—120 " кв.
700/750	80—170 " кр.
	80—150 " кв.
800/850	90—220 " кр.
	90—180 " кв.
900/950	100—300 " кр.
	100—250 " кв.

В своей работе станы перекрывают друг друга; таким образом, размеры от 19 до 25 мм могут прокатываться на стане 250 и 300; размеры от 25 до 45 мм могут прокатываться на стане 300 и 360; размеры от 38 до 65 мм—на стане 350 и 450.

Если круглое железо, толще 120—150 мм, требуется в небольших количествах, то и эти размеры могут быть прокатываемы на станах 450, примеры чего имеются в Америке на станах с короткими вальками в шахматном или непрерывном расположении.

Нахождение общих калибров для ряда профилей каждого стана производится методом, изложенным при решении этой задачи для проволоки, поэтому не будем здесь проводить подобных расчетов.

Прокатка ведется петлями для сечений калибров 140 мм² и менее. В калибрах большого сечения прокатка петлями затруднительна для вальцовщика, который должен захватить клещами полосу налету. Слишком тяжелая полоса может увлечь за собой вальцовщика.

Если применяются станы, устраняющие помощь вальцовщика, то допускаются для петления сечения до 190 мм².

¹ Европейская практика, применяющая более длинные вальки, дает несколько иное распределение профилей по станам (таблица 40).

Калибровка квадратного железа

Для получения строго квадратного профиля помимо чистового калибра, построение которого было описано выше, необходимы предотделочный ромбический и затем квадратный калибры.

Элементы предотделочного ромба (развала) определяются на основании следующих данных.

Построение чистового калибра для квадрата толщиной в холодном состоянии c производится, исходя из размера горячего профиля

$$c_1 = \text{от } 1,012 c \text{ до } 1,015 c.$$

Коэффициент вытяжки в чистовом калибре принимается:

$$\mu = \text{от } 1,11 \text{ до } 1,15,$$

при чем меньшие вытяжки берутся для более крупных, а большие — для более мелких профилей.

На уширение в чистовом калибре принимается:

$$1) \text{ при } c < 20 \text{ мм}$$

$$z = \text{от } 1,5 \text{ до } 2 \text{ мм},$$

$$2) \text{ при } c > 20 \text{ мм}$$

$$z = \text{от } 2 \text{ до } 3 \text{ мм}.$$

Таким образом имеем площадь предотделочного (шлихтовального) ромба:

$$Q_2 = \text{от } 1,11 c^2 \text{ до } 1,15 c_1^2$$

Также элементы ромба h и b :

$$h_2 = 1,41 c \text{ — от } 1,5 \text{ до } 2 \text{ мм},$$

$$\text{или } h_2 = 1,41 c_1 \text{ — от } 2 \text{ до } 3 \text{ мм}$$

$$\text{и } b_2 = \frac{2Q_2}{n_2}.$$

Хуже строить ромб по углу α при вершине, как это дает справочник Hütte, так как неточность, в построении углов α влечет за собою большие погрешности в величине b_2 , которую, следовательно, все равно приходится проверять расчетом по площади ромба.

Hütte дает следующие α :

$\varnothing$	α
5—13 мм	112°
14—26 "	108°
26—32 "	105°
>32 "	102°

В противоположность круглому железу размер *предотделочного квадрата* не требует слишком точного определения, так как размеры выходящей из него штуки легко регулируются установкой валков.

Поэтому диагональ предотделочного квадрата h_2 можно брать равной горизонтальной диагонали шлихтовального развала b_2 , не предусматривая уширения, т. е.

$$h_2 = b_2$$

Но лучше принимать на уширение z от 1,5 до 3 мм и тогда

$$h_2 = b_2 - z.$$

Брово рекомендует для квадратного железа от 5 до 25 мм коэффициент вытяжки в шлихтовальном развале μ_2 от 1,26 до 1,35, что дает возможность найти площадь чернового квадрата

$$Q_3 = \mu_2 Q_2$$

и следовательно

$$C_3 = \sqrt{Q_3}.$$

Брово рекомендует давать два предотделочных ромба и квадрат: шлихтовальный ромб, черновой ромб, черновой квадрат, размеры которых можно найти по следующим данным:

$\varnothing$	μ_1	μ_2
5—7,5	1,25—1,20	1,33—1,29
8—10,5	1,20—1,15	1,29—1,28
11—13,5	1,15—1,13	1,28—1,27
14—16,5	1,13—1,12	1,28—1,27
17—19,5	1,12	1,26
20—25	1,11	1,26

Размеры чернового ромба определяют, принимая уширение в шлихтовальном ромбе

$$z_2 = 2 - 3,5 \text{ мм.}$$

Отсюда

$$h_3 = b_2 - \text{от } 2 \text{ до } 3,5 \text{ мм}$$

$$b_3 = \frac{2Q_3}{h_3}$$

Размеры чернового квадрата можно брать по правилам, указанным выше, т. е.

$$h_4 = b_3$$

или

$$h_4 = h_3 - z_2.$$

В смысле работы проводок сказанное о предотделочном овале для круглого железа имеет полную силу для предотделочного ромба при прокатке квадратного железа.

Точно также здесь имеет силу сказанное о прокатке без проводок. Однако прокатка вручную квадратных профилей толще 35 мм имеет более широкое применение, чем при круглом. При этом ряд чистовых калибров, предшествующих данному, могут служить в качестве предотделочных калибров.

В этом случае чистовые калибры имеют специальную конструкцию, предусматривающую уширение металла при службе их в качестве предотделочных, как это было указано ранее при рассмотрении конструкций чистовых калибров.

При калибровке стана для прокатки квадратного железа необходимо иметь в виду, что квадратное и круглое железо прокатываются на одних и тех же станах и что вытяжные калибры могут быть общими для ряда размеров круглого и квадратного железа. Следовательно, калибровка сортовых станов должна предусматривать общие вытяжные калибры.

При размещении квадратных профилей по станам можно пользоваться таблицей 39, где размеры квадратов эквивалентны размерам круглого железа по площадям. Прокатка петлями, как и для круглого железа обычно ведется в калибрах сечением от 140 мм² и меньше и во вполне механизированных станах до 190 мм².

Употребительные переходы по таблице для квадратного железа (Жеза):

5—25 мм	через 0,5 мм допуска	$\pm 0,3$ мм
25—50 "	" " " "	$\pm 0,5$ "
50—80 "	" " " "	$\pm 0,75$ "
80—120 "	" " " "	$\pm 1,5$ "
120—150 "	" " " "	$\pm 2,0$ "

Калибровка шестигранного железа

Толщина шестигранного железа определяется по диаметру d описанного круга. Калибровка тождественна с калибровкой круглого железа за исключением предотделочного калибра, который вместо овала имеет форму неправильного шестиугольника, изображенного на фиг. 79 (Hütte для металлургов).

Размеры этого предотделочного калибра определяются из следующей таблицы:

d	h	h_1	b
меньше 21 мм	$0,9 d$	$0,5 d - 1$ мм	$1,2 d$
21—50 мм	$d - 2,5$ мм	$0,5 d - 1,2$ мм	$1,1 d$
толще 50 мм	d	$0,5 d$	$1,17 d$

В этот калибр поступает плашмя квадрат из предыдущего калибра, сторона которого определяется, как для круглого железа, по таблице 30.

При калибровке валков сортовых станов для данного сорта конечного продукта необходимо выбрать начальное сечение и длину слитка, обжатой болванки или заготовки, до которых ведется расчет общих вытяжных калибров.

При выборе исходного сечения руководствуются следующими соображениями:

1. Весь процесс прокатки должен быть проведен с одного нагрева, при чем конечный продукт должен иметь достаточно высокую температуру во избежание наклепа и во избежание чрезмерного расхода энергии при прокатке.

Для мягкого сортового железа лучше всего было бы придерживаться

температуры до конца прокатки около 850° при первоначальной температуре исходного материала $1250-1200^\circ$.

Очевидно, чем быстрее идет прокатка, т. е. чем меньше паузы и чем больше скорость металла в валках, тем больше может быть выбрано исходное сечение.

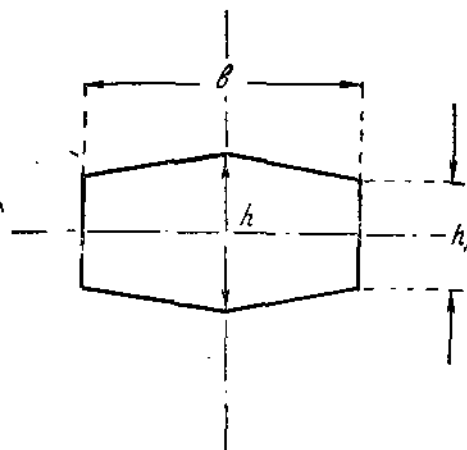
Таким образом указанным соображением определяется размер полной вытяжки прокатываемой штуки.

2. Длина конечного продукта прокатки, определяющая вместе с сечением его вес готовой штуки, оказывает также определенное влияние на вес и сечение исходного материала.

Длина конечного продукта определяется, с одной стороны, стремлением к максимуму, с другой стороны, этот максимум ограничивается необходимостью иметь возможно меньшую разность температур переднего и заднего конца штуки и в особенности опасностью иметь чрезмерно низкую температуру заднего конца ее.

Указанная разница температур переднего и заднего конца штуки ведет к разнице в размерах и форме сечения конечного продукта и может привести к превышению установленных допусков, а следовательно, к браку по техническим условиям.

Применение петлевой прокатки позволяет достигать больших длин, чем прокатка на весь проход перед задачей в следующий калибр. Чем петли будут короче, т. е. чем дробнее ступенятся скорости отдельных клеток, тем большая может быть достигнута длина при прочих равных условиях.



Фиг. 79.

Следует, однако, отметить, что при прокатке на полный проход распределение температуры по длине прокатываемой штуки значительно равномернее, чем при прокатке петлями.

Действительно, охлаждение полосы, выходящей из валков, идет скорее, чем полосы, входящей в валки, так как первый конец имеет меньшее поперечное сечение, чем второй.

После выхода из валков всей полосы передний конец может быть холоднее заднего. После этого задний конец задается в следующий калибр и становится, следовательно, передним. После второго пропуска, следовательно, этот конец охладится более другого по указанной причине, но так как первый конец был горячее второго перед вторым пропуском, то в результате получается выравнивание температуры обоих концов.

Это обстоятельство до известной степени способствует удлинению конечного продукта, однако не может конкурировать с результатами в отношении длины с петлевой прокаткой, так как при продолжительном пребывании металла вне валков происходит значительное охлаждение его.

В виду сказанного понятно стремление применять петлевую прокатку всякий раз, когда это возможно.

3. Ограничение длины петель или конечной штуки вызывает необходимость или применить заготовку, соответствующую по весу развесу конечной штуки, или, что делается чаще, разрезать полученную в черновой клетке полосу на части и вести одновременно прокатку в чистовой линии нескольких кусков.

Таким образом, суммарный вес кусков, задаваемых в чистовую линию непосредственно друг за другом, определяет собою вес исходной болванки или заготовки.

4. Вес исходной болванки или заготовки еще не определяет собою вполне сечения ее, так как длина заготовки по конструкциям печей может варьировать от 0,75 до 9 м.

Выбор длины заготовки или слитка зависит, во-первых — от системы стана, во-вторых — от принятой системы работы.

Если применяется прокатка из слитков, то длина их обуславливается условиями разливки и обычно находится в пределах от 0,75 до 1,5 м для сортового металла. В таких случаях обычно применяется европейское расположение станов в 2 или 3 линии, из коих первая линия является обжимным трио.

Если применяется обжатая болванка, то при наличии только блюминга она обычно имеет сечение не менее 100×100 , и в крайнем случае 90×90 ; при наличии же непрерывных заготовочных станов непосредственно за блюмингом в сортовые станы поступает заготовка размером от 75×75 до 35×35 мм в зависимости от размера окончательного продукта.

Выбор между 75×75 и 35×35 стоит также в связи с допускаемой печами длиной заготовки.

Американская практика, по преимуществу, придерживается длины заготовки 8—9 м, немецкая же придерживается более толстой и менее длинной заготовки, обычно не более 5 м.

5. Предельная длина конечного продукта, металла в виде прутков, а не бунтов, ограничивается длиной механических холодильников, которые в настоящее время в Америке нормальны 45—60 м, в соответствии с преобладающими системами станов для малых длин и до 100 и 144 м — для больших длин.

После этих замечаний приведем несколько примеров суммарных вытяжек, применяемых в сортовых станах (таблица 41).

Для определения общего числа пропусков при прокатке сортового железа следует принимать за средний коэффициент вытяжки 1,41, полагая от квадрата к квадрату $\mu_0 = 2$.

Отсюда общее число пропусков определится из условия:

$$1,41 = \sqrt[n]{\frac{Q_0}{Q_n}}$$

Таблица 41

Стандарт	Европейская работа		Толщина болван, мм	Общая вытяжка мм.
	Наибольшая длина продукта м	Толщина загот. мм		
260	80—100	50—60	80—100	100—25
300	70—90	50—70	100—150	100—25
350	60—70	60—100	125—180	80—40—20
400/450	40—60	80—130	150—270	50—25—20
500/550	40—60	—	125—250	25—10—7
600/650	50—70	—	180—275	20—7—6
650/700	50—75	—	180—320	15—6—5
750/800	90—120	—	180—350	15—6—4

Не следует, конечно, во всех пропусках пользоваться этим средним коэффициентом вытяжки. Обычно в чистовой линии средний коэффициент вытяжки равен 1,25—1,28, а в черновых клетях—около 1,6, иногда больше.

В чистовой линии фактический коэффициент вытяжки определяется, как было показано на примере калибровки проволоки.

В черновых клетях коэффициент вытяжки в каждом пропуске приспособляют к тому, чтобы угол захвата не превосходил 24—25°. Благодаря этому получается минимальное число пропусков при прокатке сортового железа; средне-мелкосортного и проволоки.

Исходная заготовка при этом применяется или крупная от 165×165 до 100×100 или мелкая от 100×100 до 38×38.

Первая применяется при прокатке:

Ø 5—11 мм, что требует наличия 4 линий
 Ø 12—32 " " " " 3 " "
 Ø 38—84 " " " " 2 "

Вторая применяется при прокатке:

Ø 5—11 мм, что требует наличия 3 линий
 Ø 12—32 " " " " 2 " "
 Ø 38—89 " " " " 1 "

Таким образом имеют место следующие схемы прокатки.

Таблица 42

Варианты числа клетей						Разм. вып. продукции	Средн. μ	Диам. стан.	Число пропуск.
1	2	3	4	5	6				
I	—	—	I	I	I	100×100	1,21	450—550	5
II	II	—	II	II	—	78×38	1,55	420—450	5
—	—	—	—	—	—	89×89			
III	III	III	III	—	—	12×12	1,49	300—450	6
—	—	—	—	—	—	32×32			
IV	IV	IV	—	—	—	5×5	1,31	250—300	8
—	—	—	—	—	—	11×11			

Число линий, максимальное 4, уменьшается в зависимости от размера исходного квадрата и от размера выпускаемого квадрата.

В чистовой и черновой линиях мелкосортных станов применяются часто следующие размеры валков и число клетей (таблица 43).

Расположение клетей и пропусков в этих линиях может быть типов, показанных на фиг. 80.

Из этих схем видно, что в чистовой линии для выпуска продукта прокатки может быть четное и нечетное число клетей, так как можно или в первой клетке делать два пропуска, или в первую клетку задавать по

Таблица 43

Данные о числе пропусков, применяемых при прокатке сортового железа по круглому

Исх. кв. Вн- пуск. кв.	150	140	127	114	100	77	63	51	44	38	14	11	10,5
4,8	—	—	22	—	—	—	16—17	—	—	15	—	8—9	8
5,5	—	—	—	—	18	—	—	—	—	—	—	—	—
6,3	—	—	—	—	—	—	—	14	—	—	—	—	—
9,5	—	—	—	—	14	13	—	—	11	—	—	—	—
12,7	—	—	—	—	12	—	10	—	—	—	—	—	—
24	—	—	—	—	—	—	—	7	—	—	—	—	—
22	—	—	11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
25,5	—	—	10	9	—	7	—	—	—	—	—	—	—
38	—	—	—	—	7	—	—	—	—	—	—	—	—
44	—	9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
51	—	—	7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
89	7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Таблица 44

	2-ая обжим. линия		Чистов. линия	
	D валк.	Число клет.	D валк.	Число клет.
Мелкосорти. I	450—300	1	250—200	5—7
Мелкосорти. II	450—400	1 (3—5)	300—250	5—7
Мелкосорти. (среднесорти.) III	550—400	1	450—300	4—5

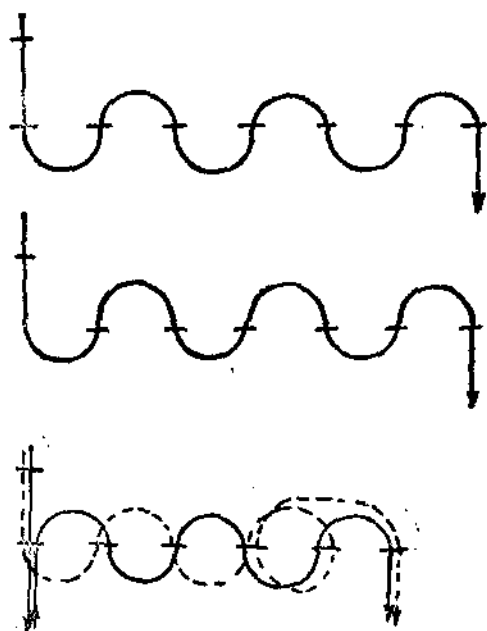
обводке с задней стороны стана, или при помощи петли удвоить число пропусков в какой-либо клетки.

Для определения числа продуктов в полунепрерывных станах применяем те же правила и коэффициенты, что и в предыдущем случае, т. е. за средний коэффициент вытяжки принимаем $\mu = \sqrt{2} = 1,41$.

Сообразно с размером исходной заготовки, которая обычно бывает в Америке 4", 3" и 2", а также и конечного сечения заготовки, для чистовой линии применяются непрерывные станы в 10, 8, 6 и 4 клетки.

Целесообразно для увеличения числа выпускаемых для чистовой линии сечений разбивать непрерывный стан на группы — например, 6+4 или 4+6; 6+2; 2+6, или 4+4; 2+4; 4+2; 2+2+2, или 1+1+2+2; 2+2; 1+1+2; или 1+1+1+1.

Последнее приводит к типу зигзагообразных и шахматных станов, если целесообразно дифференцировать число оборотов в клетях чистовой линии.



Фиг. 80.

КАЛИБРОВКА ПОЛОСОВОГО ЖЕЛЕЗА

В то время как при прокатке сортового железа штука от первого до последнего пропуска кантуется перед каждым пропуском на 90 или 45°, прокатываемое полосовое железо кантуется только в черновых станах, в которых вырабатывается квадрат, необходимый для его расплющивания в полосу требуемого размера.

Это расплющивание квадрата в полосу производится или без кантовки или с кантовкой на 180°.

Следовательно, должен быть рассчитан ряд плоских калибров между последним квадратным и чистовым, при чем решаются следующие вопросы:

- 1) каков должен быть размер исходного для плоских калибров квадрата;
- 2) каковы должны быть вытяжки в каждом пропуске;
- 3) сколько необходимо иметь пропусков для прокатки исходного квадрата в полосу требуемого размера.

В таблице 45 приведены применяемые размеры полосового железа. Различается несколько видов полосового железа; сутуночная полоса, штрибсовая полоса, рессорная полоса, универсальная полоса, шинное и обручное железо.

Обручное и шинное¹ железо получают в мотках, остальное полосовое — в виде прямых полос.

Сутуночная полоса, идущая на прокатку кровельного железа и жести, является заготовкой: имеет ширину 150—175 мм и толщину 5—8 мм, в зависимости от развеса листов.

Штрибсовая полоса, а также полупродукт, идет на прокатку сварных труб и имеет ширину от 30 мм и толщину от 1,5 мм, в зависимости от размеров трубы. Рессорная железнодорожная сталь имеет ширину 51—110 мм и толщину 6,5—13 мм, при чем, когда она имеет в середине с одной стороны продольный буртик и с другой стороны соответствующий продольный желобок, то имеет ширину 76—115 мм и толщину 6,5—13 мм.

Таблица 45

Ширина <i>b</i>	Толщина <i>S</i>	Изменение толщины	<i>D</i> валков чистовой линии	Изменение по ширине
12—50 мм	4—60 мм, имен-	до 8 мм че-	200—280	Для ширины от 12 до 22 через 2 мм
50—70 "	но: 4 мм и боль-	рез 1 мм; до	300—360	" " " 22 до 25 " 3 "
70—100 "	ше, но не боль-	22 мм—через	360—500	" " " 25 до 80 " 5 "
100—150 "	ше 1/2 ширины	2 мм; до 200 мм	500—560	" " " 80 до 160 " 10 "
150—200 "	при макс. 60 мм	через 5 мм	560—600	" " " 160 до 200 " 20 "

Экипажная рессорная сталь имеет ширину 40—75 мм и толщину 6—12 мм. Все виды рессорной стали имеют закругленные кромки. Широкополосное железо прокатывается на универсальных станах, откуда и получило название универсального железа. Универсальное железо имеет ширину от 200 до 450 мм и толщину от 4 до 35 мм и острые кромки.

Шинное железо имеет ширину от 40 до 65 мм и толщину 5—10 мм и закругленные кромки.

Обручное железо имеет ширину от 12 до 100 мм и толщину от 0,9 до 3,5 мм и острые кромки.

Полосовое железо в собственном смысле имеет ширину от 12 до 20 мм с отношением толщины к ширине не больше 1:2.

Специальное полосовое: 1) сталь для пальцевого бруса к сенокосилке имеет ширину 13 мм с закругленными кромками; 2) накладки для рудничных рельс шириною 47,5—62 мм и толщиной 6,5—9 мм имеют закругленные пары углов, прилегающей к одной из длинных сторон сечения;

¹ Иногда штрибсовое из непрерывных штрибсовых станов.

3) железо для колец, скрепляющих бандаж с ободом колеса, имеет ширину 8 мм и закругленные кромки одной из узких сторон сечения.¹

Наиболее рациональный способ *определения исходного квадрата* для полосового железа дает Жез, встречающий затруднение лишь в точном определении размера общего уширения.

Так как квадрат обжимается в полосу лишь в одном направлении, то уширения всех пропусков суммируются. Жез определяет суммарное уширение, пользуясь своей формулой, однако берет коэффициент k лишь 0,25 от общего обжатия $\Delta - \delta$, имея в виду несвободное уширение в ручьевых калибрах. При прокатке в ступенчатых валках коэффициент уширения принимается 0,4.

Необходимо, однако, иметь в виду, как уже было выяснено нами ранее, что коэффициент уширения железа меняется, в зависимости от многих других факторов, из коих существенное значение имеет между прочим диаметр валка и толщина полосы, выходящей из валков. В качестве некоторого приближения к действительности можно пользоваться для определения уширения в каждом пропуске диаграммой (фиг. 18). Для предварительного же определения общего уширения можно пользоваться для более толстых и широких полос коэффициентом $k=0,2$, для более узких и тонких — коэффициентом $k=0,25$ при ручьева прокатке.

На помощь в трудном деле учета уширения приходит применение ребрового пропуска перед чистовым ручьем, при помощи которого получается предотделочной полосе строго точно требуемая ширина с учетом уширения лишь в чистовом калибре.

Обозначим ширину готового продукта через e и толщину его через S , а искомую сторону исходного квадрата через x ; при вычислении горячего профиля достаточно определить лишь увеличенную ширину полосы, применяя коэффициент 1,615; нет нужды определять горячий размер толщины S , так как требуемая толщина определяется установкой валков. Поэтому обозначим размеры горячей ширины b_1 , как ширину первого (с конца) калибра.

Имеем следующее соотношение:

$$x + k(x - S) = b_1. \quad (1)$$

Отсюда

$$x = \frac{b_1 + kS}{1 + k}.$$

Например, определим размер исходного квадрата для полосы 90×7 мм. Примем $k=0,25$. Диаметр валков $D=500$ мм, ширина $b_1=1,015$. $90=91,3$ мм.

$$x = \frac{91,3 + 0,25 \cdot 7}{1,25} = 74,4 \text{ мм}$$

Принимаем сторону квадрата $x=74,5$ мм ≈ 75 мм.

Найденный исходный квадрат пригоден для получения ряда близких толщин полосового железа данной ширины от 4 до 12 мм, так как определяемые для них по той же формуле квадраты равны: 73,8 мм для $S=4$, и 75 — для $S=12$, если принять для более толстых полос $k=0,2$. С применением же ребрового калибра расчет исходного квадрата надо вести на наибольшую применяемую толщину полосы при данной ее ширине.

Например, в данном случае по сортаменту ОСТ наибольшая толщина полосового при $e=90$ равна $S=50$.

$$x = \frac{91,3 + 0,2 \cdot 50}{1,2} = 84 \text{ мм}$$

¹ Детально о размерах полосового железа см. сортамент ОСТ.

В ребровом пропуске, для наименьшей толщины $S=4$ мм должна быть дана осадка на излишнюю ширину плюс излишнее уширение

$$(84 - 74) + 0,25(84 - 74) = 1,25(84 - 74) = 12,5 \text{ мм.}$$

В ребровых калибрах допускается обжатие, не превышающее 15% ширины. В данном случае допускаемое обжатие равно $90 \cdot 0,15 = 13,5$ мм. Таким образом, найденный исходный квадрат 84 мм пригоден для прокатки полосового железа $90 \cdot (4 - 50)$ мм.

Выясним теперь, для каких размеров полосового железа соседних больших номеров по ширине пригоден найденный квадрат 84 мм при помощи уравнения (1)

$$84 + 0,25(84 - y) = z, \quad (2)$$

где $z = 100 \cdot 1,015 = 101,5$ мм — ширина ближайшего большего номера в горячем состоянии и y — наибольшая толщина.

Решая это уравнение, получаем:

$$y = \frac{1,25 \cdot 84 - 101,5}{0,25} = 14 \text{ мм.}$$

Таким образом, найденный квадрат пригоден также для полосового железа $100 \cdot (4 - 14)$ мм.

Что касается коэффициента вытяжки каждого пропуска, то в виду быстрого остывания полосы при прокатке необходимо работать с большим коэффициентом вытяжки, но поскольку ради тонкости профиля нельзя допускать больших напряжений металла в последних пропусках, то необходимо принимать максимальные вытяжки в первых пропусках. Поэтому всюду при прокатке полосового железа применяются переменные коэффициенты вытяжки, уменьшающиеся в направлении прокатки и возрастающие против прокатки.

Жез устанавливает приращение коэффициента вытяжки по арифметической прогрессии.

В основе этого правила лежит стремление пропорционировать вытяжку с пластическим состоянием железа. Однако, поскольку падение температуры металла от пропуска к пропуску неравномерно и не может быть предусмотрено в числовом выражении, то предположение изменения приращения коэффициентов вытяжки по арифметической прогрессии оправдывается не теоретическим обоснованием, а хорошими результатами практического их применения.

На основании этого положения Жезом составлены таблицы изменения коэффициентов вытяжки по пропускам или, точнее говоря, относительные высоты калибров для разного числа калибров (от 3 до 9) и разных максимальных исходных коэффициентов (от 1,5 до 2). Эти таблицы помещены в справочнике для металлургов Hütte и приведены в таблице 48 в несколько измененном и дополненном мною виде. Таблицы дополнены мною произведениями коэффициентов, т. е. коэффициентами суммарного уменьшения высоты.

Выбор числа калибров, очевидно, стоит в зависимости от суммарного коэффициента уменьшения высоты (p) и от мощности двигателя.

Очевидно, сторона исходного квадрата $x = pS$, откуда

$$p = \frac{x}{S}.$$

Так как сторона исходного квадрата x определена и S толщина полосы известна, то легко находится коэффициент суммарного уменьшения высоты p .

Коэффициент относительных высот калибров полосового железа

№№ кал.	№№ вертикальных столбцов						Группы
	1	2	3	4	5	6	
I	1,00	1,0	1,00	1,0	1,00	1,0	1
II	1,25	1,3	1,35	1,4	1,45	1,5	
III	1,50	1,6	1,70	1,8	1,90	2,0	
P	1,87	2,08	2,3	2,52	2,76	3,0	
I	1,00	1,0	1,0	1,00	1,0	1,00	2
II	1,17	1,2	1,23	1,27	1,3	1,33	
III	1,34	1,4	1,46	1,54	1,6	1,67	
IV	1,50	1,6	1,70	1,80	1,9	2,00	
P	2,35	2,69	3,05	3,52	3,95	4,44	
I	1,00	1,00	1,000	1,0	1,000	1,00	3
II	1,125	1,15	1,175	1,2	1,225	1,25	
III	1,250	1,30	1,350	1,4	1,450	1,50	
IV	1,375	1,45	1,525	1,6	1,675	1,75	
V	1,500	1,60	1,700	1,8	1,9 0	2,00	
P	2,9	3,47	4,11	4,84	5,66	6,56	
I	1,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,0	4
II	1,1	1,22	1,14	1,16	1,18	1,2	
III	1,2	1,24	1,28	1,32	1,36	1,4	
IV	1,3	1,36	1,42	1,48	1,54	1,6	
V	1,4	1,48	1,56	1,64	1,72	1,8	
VI	1,5	1,60	1,70	1,80	1,90	2,0	
P	3,6	4,47	5,5	6,69	8,07	9,67	
I	1,000	1,0	1,000	1,000	1,00	1,000	5
II	1,083	1,1	1,117	1,133	1,15	1,167	
III	1,166	1,2	1,234	1,266	1,30	1,344	
IV	1,249	1,3	1,351	1,393	1,45	1,501	
V	1,330	1,4	1,467	1,532	1,60	1,668	
VI	1,415	1,5	1,585	1,665	1,75	1,835	
VII	1,500	1,6	1,700	1,800	1,90	2,000	
P	4,46	5,77	7,36	9,22	11,52	14,28	
I	1,00	1,000	1,0	1,000	1,00	1,00	6
II	1,07	1,058	1,1	1,114	1,13	1,14	
III	1,14	1, 72	1,2	1,228	1,26	1,29	
IV	1,21	1,258	1,3	1,342	1,39	1,43	
V	1,28	1,344	1,4	1,456	1,52	1,57	
VI	1,35	1,430	1,5	1,570	1,65	1,71	
VII	1,42	1,516	1,6	1,684	1,78	1,85	
VIII	1,50	1,600	1,7	1,800	1,90	2,00	
P	5,43	7,46	9,8	12,7	16,8	20,9	
I	1,000	1,000	1,000	1,0	1,00	1,000	7
II	1,063	1,075	1, 88	1,1	1,11	1,125	
III	1,125	1,150	1,176	1,2	1,22	1,250	
IV	1,188	1,225	1,264	1,3	1,33	1,375	
V	1,175	1,300	1,352	1,4	1,44	1,500	
VI	1,313	1,375	1,440	1,5	1,5 0	1,625	
VII	1,375	1,450	1,528	1,6	1,67	1,750	
VIII	1,438	1, 25	1,616	1,7	1,79	1,875	
X	1,500	1,600	1,700	1,8	1,90	2,000	
P	6,91	9,56	13,23	17,8	22,8	30,9	

Так, например, для полосы 90×7 , для которой уже найден выше исходный квадрат $74,5 \text{ мм} \approx 75 \text{ мм}$, коэффициент суммарного уменьшения высоты равен:

$$p = \frac{75}{7} = 10,7.$$

По найденному значению $p = 10,7$ отыскиваем подходящую вертикальную графу в таблице 46.

Ближайшие значения $p = 9,8$ и $p = 11,52$ находятся соответственно в 3 и 5 вертикальных столбцах и отмечают: первое — VIII калибром, второе — VII калибром. Следовательно, данное полосовое железо рационально прокатывать в VII или VIII калибрах.

Остаиваясь для примера на VII калибрах, имеем ряд коэффициентов высот отделочных калибров из 5-ой вертикальной графы (группа 5), которыми и пользуемся для калибровки.

Проведем примерный расчет калибровки полосового железа, ведя его в таблице 47.

Так как произведение коэффициентов, взятых из группы 5 в 5-ом вертикальном столбце (11,52), больше требуемого (10,7), то, чтобы конечный и исходный профили сблизились, необходимо исправить коэффициенты, умножив их на

$$\sqrt{\frac{10,7}{11,52}} \approx 0,99$$

Таблица 47

$90 \times 7 \text{ мм}$ и $90 \times 20 \text{ мм}$

№ калибр.	Коэффициенты		h_m		$\Delta - \delta$	K_z	z	b	$90 \times 20 \text{ мм}$	
	по табл.	исправл.							h	коэф.
I	1	1	7	7	1	0,37	0,4	91,3	20	1
II	1,15	1,14	7,98	8	2	0,36	0,9	90,9	21	1,05
III	1,30	1,29	10,3	10	5	0,34	2	90	23	1,095
IV	1,45	1,43	14,7	15	8	0,27	3	88	28	1,22
V	1,60	1,58	21,3	23	17	0,22	4	85	36	1,29
VI	1,75	1,73	40,3	40	35	0,12	6	81	53	1,47
VII	1,90	1,88	75	75	—	—	—	75	75	1,42

Поэтому в таблице 47 помещена графа исправленных коэффициентов.

Так как толщина готовой полосы равна 7 мм, то высота I калибра равна 7, теоретические высоты (h_m) последующих калибров получаем умножением высоты предыдущего калибра на соответствующий искомой высоте коэффициент; найденные теоретические высоты калибров помещены в графу h_m .

Найденные теоретические высоты исправляем, округляя; при этом отметим, что Жез рекомендует в чистовом калибре всегда давать обжатие 1 мм, а в предотделочном 2 мм для получения более точного профиля.

Исправленные значения высот помещаем в графу h .

В число найденных калибров входит и исходный квадрат, так что плоских калибров имеем 6.

В следующей графе помещаем абсолютные обжатия по высоте $\Delta - \delta$. Эта графа позволяет нам проверить максимальный угол захвата при $D = 500$ или $d_1 = 500 - 40 = 460 \text{ мм}$.

Находим

$$1 - \cos \varphi = \frac{\Delta - \delta}{d_0} = \frac{40}{460} = 0,087.$$

По таблице 1 определяем $\varphi = 24^\circ$, угол захвата, допускаемый практикой.

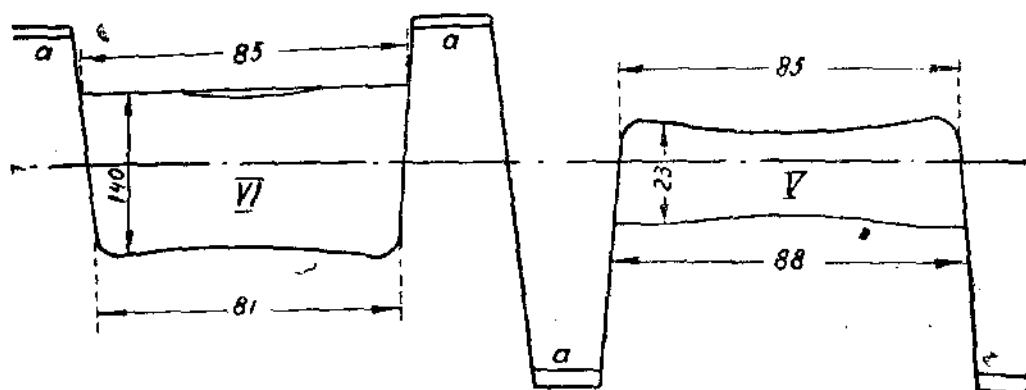
Если бы угол захвата оказался больше допускаемого, то было бы необходимо или усилить ближайшие коэффициенты или между VI и VII вставить еще один плоский калибр.

В следующей графе помещаем коэффициенты уширения k , выбираемые приблизительно по диаграмме фиг. 18. Ширина I калибра равна ширине горячего профиля и определена была выше 91,3 мм.

Отнимая уширение $1 \cdot 0,4 = 0,4$ мм, получаем ширину II калибра и т. д. В графе z помещены размеры уширения в миллиметрах; при этом расчете свободное уширение можно принимать только в трех первых калибрах, т. е. чистовом и двух предотделочных, в остальных же уширение не свободно, в них коэффициент уширения принимаем равным 90% от свободного уширения.

Вычисленные в миллиметрах уширения z округляем до ближайшего целого числа миллиметров. Результаты помещены в графе z . Вычитая соответствующие уширения от ширины калибра, получаем ширину следующего калибра. Результаты занесены в графу b .

При вычерчивании калибров следует принимать в расчет следующие соображения.



Фиг. 81.

Во избежание заусенок прокатка ведется в закрытых калибрах, при чем от калибра к калибру полоса поворачивается на 180° или, что то же, не поворачивая полосы, поворачивают очертание следующего калибра на 180° .

На фиг. 81 изображены два последних из вычисленных нами калибров стана дуо реверсивного. Конусность калибров здесь играет ту же роль, что и в калибрах блюминга. Закругления в глубине калибра имеют целью предотвратить образование заусенок в зазорах между выступом верхнего вала и выемкой нижнего и обратно. Уклон граней (выпуск) делается от 3 до 5%, уменьшаясь в направлении к чистовому калибру.

Остановимся несколько подробнее на роли закруглений в калибрах.

Как выяснено было ранее, вследствие разных причин — температуры металла, состава его, неоднородности и т. д. — калибр может заполняться не в одинаковой мере, именно, в некоторых случаях он может переполниться, и в таком случае излишний металл, приподнимая верхний валок, устремляется в образовавшийся зазор между буртами верхнего и нижнего вала — получаются заусенки. Это можно исправить уменьшением ширины предыдущего калибра, но можно вместо исправления всей ширины предыдущего калибра удалить избыток металла только в тех местах, где имеется тенденция к образованию заусенок. Для этого делаются в соответствующих местах предыдущего калибра притупления углов или закругления. Этот прием дает калибровщику возможность добиться правильной и точной работы калибра.

При расчете калибровки целесообразно поэтому выбирать обжатие и уширение так, чтобы предыдущий калибр без закруглений и притуплений вполне заполнял бы данный калибр.

Затем в углах предыдущего калибра делают такие большие притупления и закругления, чтобы благодаря им получилось заведомое незаполнение данного калибра. После этого на основании проделанной пробы прокатки можно постепенно уменьшать притупление или закругление токарной работой до тех пор, пока пробная прокатка не даст удовлетворительный результат. Кроме того притупления и закругления способствуют центрированию полосы в калибре.

На основании продолжительной практики размеры притуплений и закруглений приобретают определенные значения, рекомендуемые калибровщиками.

В станах трио, в которых большей частью идет прокатка полосового железа, VI калибр помещается между средним и верхним валком, V калибр — между средним и нижним валком (фиг. 81), при чем калибры перемещаются диагонально, т. е. не связаны друг с другом. Последнее обстоятельство позволяет свободно выбирать верхнее и нижнее давление, как это было разъяснено выше.

Закругление углов делается радиусами от 0 до 12 мм, при чем в чистовом калибре он равен 0, в следующих — постепенно возрастает вместе с толщиной полосы.

Проф. Тафель дает для калибровки полосового железа таблицу ступеней давления, закруглений и выпусков (таблица 48).

Таблица 48

Размер полосового железа	Приращ. Δh						Радиус закруг. мм						Выпуск %					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
(10—25)×4 мм и толще	0	2	6	—	—	—	0	0,7	2	—	—	—	3	4	5	—	—	—
(26—30)×4 " "	0	2,5	8	—	—	—	0	1	3	—	—	—	3	4	5	—	—	—
(32—46)×(4—8)	0	2,5	8	18	—	—	0	1	3	5	—	—	3,5	4	5	5	—	—
(48—57)×9 мм и толще	0	3	12	—	—	—	0	1	4,5	—	—	—	3	4	5	—	—	—
(48—57)×4 " "	0	3	9	20	—	—	0	1	3	5	—	—	3	4	5	5	—	—
(58—80)×(4—8)	0	2,5	8	18,5	37	—	0	1	3	5	10	—	3,5	5	5	5	5	—
(58—80)×9 мм и толще	0	3,5	12	30	—	—	0	1,25	5	9	—	—	3	4	5	5	—	—
(82—120)×9 " "	0	3	11	25	48	—	0	1,5	4	7	10	—	3	4	5	5	5	—
(122—185)×9, " "	0	4	12	23	45	80	0	2	4	5	9	12	3	4	5	5	5	5

Под ступенями давлений проф. Тафель понимает приращение высоты рунцев сверх толщины чистового калибра. Таблица составлена для всех размеров полосового железа по ширине и толщине до максимальной ширины 185 мм.

Из таблицы видно, что прокатка в плоских калибрах требует от 3 до 6 пропусков. Что касается уширения, то Тафель рекомендует придерживаться в чистовом калибре 0,5 мм, а в остальных постепенно возрастающего до 5 мм, хотя и указывает, что его можно определять по формуле Жеза.

По сравнению с методом Жеза калибровка Тафеля дает более энергичную работу и приводит к несколько большим квадратам, что можно видеть и из нижеприведенного примера расчета калибровки.

Тафель утверждает, что предполагаемая калибровка оправдала себя в практическом применении.

Опасная сторона этой калибровки, по нашему мнению, заключается в сильном обжатии в чистовом калибре и в возможности переполнения калибров металлом при неправильно выбранном уширении.

Для примера рассчитаем калибровку полосы 90×7 по этому методу, поместив расчет в таблице 49.

Таблица 49

№ кал.	Δh	h	$\Delta - \delta$	z	b	r	a
I	0	7	3	0,4	91,3	0	3
II	3	10	8	0,9	90,9	1,5	4
III	11	18	14	2	90	4	5
IV	25	32	23	3	88	7	5
V	48	55	26	4	85	10	5
Исх.	—	81	—	—	81	—	—

Из таблицы 48 видно (строка 8), что калибровка проходит в 5 плоских калибрах. Выписываем в таблице 49 значения Δh и находим h , прибавляя Δh к 7 мм.

Вычисленные обжатия $\Delta - \delta$ показывают по сравнению с калибровкой по Жезу энергичное обжатие в первых четырех калибрах. Обжатие в V калибре и размер исходного квадрата определяем при помощи уширения, которое берем из предыдущего расчета. Отсюда исходный квадрат равен 81 мм и, следовательно, обжатие в V калибре $\Delta - \delta = 81 - 55 = 26$ мм. Угол захвата, из выражения $1 - \cos \psi = \frac{26}{500 - 55} = 0,0585$, равен 20° — меньше, чем при калибровке по Жезу, несмотря на больший размер исходного квадрата. Захват штуки облегчается.

Закругление углов производится радиусами r и выпуск определяется значениями a %.

Рассмотрим калибровку *обручного железа* по методу Жеза на примере $25 \times 0,9$ мм. Диаметр валков — 260 мм.

Примем для предварительного расчета исходного квадрата коэффициент суммарного уширения $K_z = 0,3$. Тогда по формуле (1) имеем:

$$x = \frac{25,4 + 0,3 \cdot 0,9}{1,3} = 20 \text{ мм},$$

где 25,4 — ширина горячей полосы.

Находим p

$$p = \frac{20}{0,9} = 22,2.$$

По таблице 46 находим ближайшее $p = 22,8$ в столбце 5, группе 7, отвечающее 9 калибрам с указанными в группе коэффициентами.

В виду незначительной разницы p поправок к коэффициентам относительных высот не делаем. Расчет ведем в таблице 50.

Таблица 50

№№ калибр.	Коэф.	$h_{\text{теор.}}$	h	$\Delta - \delta$	K_z	z	b
I	1,0	0,9	0,9	1	0,36	0,4	25,4
—	1,11	0,99	—	—	—	—	—
—	1,22	1,21	—	—	—	—	—
—	1,33	1,6	—	—	—	—	—
II	1,44	2,31	1,9	2	0,35	0,7	25
III	1,55	3,58	3,9	2,1	0,34	0,7	24,3
IV	1,67	5,98	6	5	0,30	1,5	23,6
V	1,79	10,7	11	9	0,30	2,5	22,1
Исх.	1,70	20,3	20	—	—	—	19,6

Вычислив теоретические высоты, отбрасываем лишние калибры, так как по Жезу обжатие в чистовом калибре всегда равно 1 мм и в предотделочном — 2 мм. В остальных калибрах округляем высоты до целого числа миллиметров. Таким образом выясняется, что требуется 5 плоских

калибров и исходный квадрат равен 20 мм. Коэффициент уширения определяем по диаграмме (фиг. 79), при чем в IV и V калибрах берем несвободное уширение, равное 90% от свободного.

Рассмотрение калибровки полосового железа с ребровым калибром соединим с рассмотрением калибровки в ступенчатых валках (фиг. 82).

При очень разнообразной программе прокатки удобно пользоваться ступенчатыми валками, как подготовительными. За ними следует ребровый калибр и полировочный калибр, так как в ступенчатых валках вследствие

свободного уширения кромки полосы получаются закругленными и недостаточно ровными.

Ребровой пропуск устраняет эти недостатки, и, кроме того, придает полосе требуемую ширину.

Так как при прокатке широких полос, получающихся из соответственной величины исходных квадратов, суммарное свободное уширение в ступенчатых валках велико и

неровности кромок могут быть значительны, то пришлось бы давать в ребровом пропуске значительные обжатия, которые могут вызвать коробление широкой полосы; поэтому рекомендуется в ступенчатых валках катать полосовое железо лишь до 60 мм, в крайнем случае до 100 мм шириной.

Вертикальное обжатие в ребровом пропуске Тафель рекомендует делать от 5 до 15% от ширины задаваемой на ребро полосы.

Абсолютно же оно должно заключаться в пределах от 3 до 12 мм в зависимости от ширины полосы.

Проследим калибровку полосы 30×10 мм в ступенчатых валках диаметром 260 мм. Горячий профиль — $30,4 \times 10,1$ мм.

В чистовом калибре вертикальное обжатие 1 мм и уширение 0,4 мм, поэтому из ребрового калибра, который является предотделочным, должна выходить полоса следующих размеров:

$$30 \times 11,1 \text{ мм.}$$

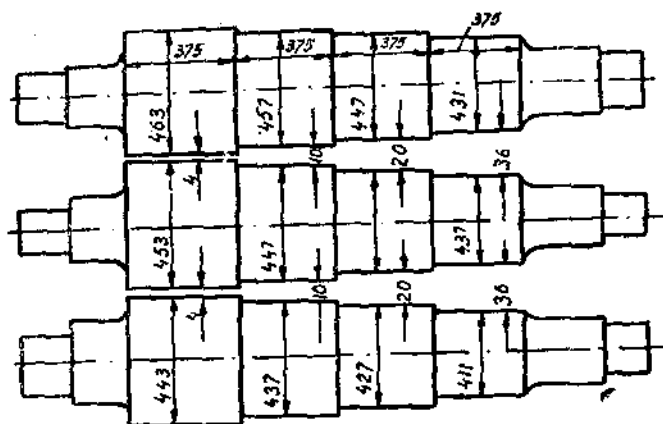
Ребровой калибр имеет конструкцию, изображенную на фиг. 83. Выпуск от 0,1 до 0,12, поэтому $n=1,5$ мм.

Для получения в чистовом калибре плоской боковой грани в глубине ребрового калибра делается выпуклость глубиной m от 0,4 до 0,75 мм в зависимости от уширения в чистовом калибре.

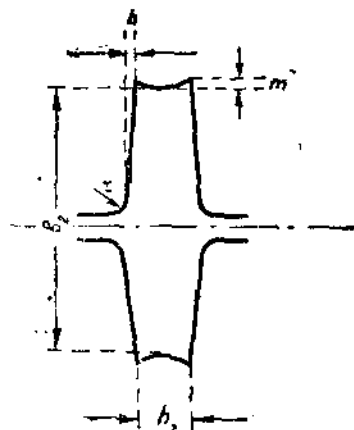
В данном случае $m=0,4$ мм.

Толщина $h_2=11,1$ и ширина $b_2=30$ мм, как было вычислено выше.

Поступающая в ребровой калибр полоса задается в него на ребро и должна иметь ширину b_3 , рассчитанную на вертикальное давление от 5 до 15% ширины. Примем около 10%, т. е. 3 мм, следовательно ширина $b_3=33$ мм.



Фиг. 82.



Фиг. 83.

Коэффициент уширения в ребровом калибре по таблице 18 $k_s=0,24$, следовательно $z=0,24 \cdot 3=0,72$ мм. Поэтому $h_s=11,1-0,72=10,38$ мм. ≈ 11 мм.

В дальнейшем ведем расчет по Жезу или Тафелю для калибровки полосы 33×11 мм.

$$x = \frac{33 + 0,25 \cdot 11}{1,25} = 28,6 \sim 29 \text{ мм.}$$

$$p = \frac{29}{11} = 2,64.$$

По таблице 46 имеем 3 калибра с коэффициентами, построенными по арифметической прогрессии с разностью 0,4 или 0,45, при $p=2,52$ и 2,76. Найденное нами значение промежуточное между ними и равно их полусумме, поэтому примем разность арифметической прогрессии 0,43 и построим ряд коэффициентов, помещенный в расчетной таблице 51. Ход расчета ясен из предыдущего.

Таблица 51

№ кал.		коэф.	h_m	h	$\Delta - \delta$	K_z	z	b
I	Чистовой	—	10,1	10,1	1	0,4	0,4	30,4
II	Ребровой	—	11,1	11,1	3	0,24	0,75	30
III	—	1	11	11	5	0,30	1,5	33
IV	—	1,43	15,8	16	13	0,22	2,5	31,5
Исх.	—	1,86	29,3	29	—	—	—	29

При прокатке полосы в ребровом калибре применяются проводки, щеки которых удерживают полосу прочно в требуемом положении.

Одни и те же ступенчатые валки служат для прокатки каких угодно размеров шинного полосового железа в отношении ширины и толщины без ребровых пропусков. Поэтому при расточке валков следует глубину ступеней определять из следующих соображений.

Обозначим глубину калибров соответственно через δ_1 , δ_2 , δ_3 , и δ_4 , сдвинем валки до соприкосновения в левой части, тогда щель $\delta_1=0$, щель δ_2 должна быть равна 1—1,5 мм, если прокатывается полоса без строго точных кромок, так как в чистовом пропуске давление не должно превосходить 1—1,5 мм, точно также щель δ_3 должна быть больше δ_2 на 2—3 мм—величину обжатия в предотделочном пропуске.

Дальнейшие щели следует брать с коэффициентами от 1,5 до 2 с целью быстрого ведения прокатки.

Поднимая более или менее верхний валок при настройке, можно получать полосы любой толщины, при чем коэффициенты высот при одном и том же профиле валков изменяются сами собою более или менее значительно в сторону уменьшения с возрастанием толщины конечного продукта, хотя абсолютная величина обжатий сохраняется.

Подъем валков вообще практикуется и при ручьевых станах для получения полос разной толщины, но одной и той же ширины. Для этого делают высокие бурты а калибров (фиг. 81).

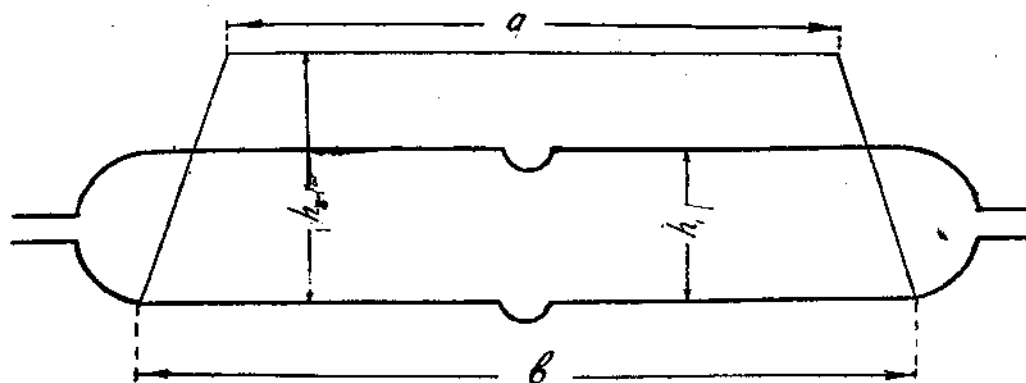
Посмотрим на примере таблицы 47, как изменяется коэффициент высот, если в тех же калибрах вместо 90×7 мм прокатывать полосу 90×20 мм. Высоты калибров все увеличатся на $20-7=13$ мм. Результаты подсчета приведены в последних двух графах таблицы 47.

При калибровке рессорной стали следует отметить следующие особенности, указанные проф. Грум-Гржимало.

От рессорной стали требуется хорошее закругление кромок и совершенная точность в расположении буртика и выемки посередине сечения

полосы (фиг. 84). Рессора сначала катается, как полосовое железо шириной b с острыми кромками, при чем предотделочный калибр имеет форму трапеции, толщина калибра h_2 — от $1,3 h_1$ до $1,6 b_1$.

Столь сильное вертикальное обжатие в чистовом калибре необходимо для штампования буртика и выемки и заполнения чистового калибра.



Фиг. 84.

Полнота заполнения чистового калибра регулируется уклоном боковых граней трапеции предотделочного калибра или — что то же — размером меньшей стороны трапеции a . Ширина трапеции b равна ширине основания чистового калибра.

Буртик и выемка получаются сразу в чистовом калибре.

ГЛАВА VII

КАЛИБРОВКА ФАСОННЫХ ПРОФИЛЕЙ

Под фасонными профилями разумеются сложные сечения, которые не могут быть получены равномерным давлением во всех частях из квадратной или плоской заготовки. К фасонным профилям не относятся *простые* сечения (круглое, шестигранное, рессорное), хотя и они получают при помощи неравномерного во всех частях профиля давления из квадратной заготовки, составляя переходную группу.

Сложное сечение фасонного профиля может быть разбито на отдельные простые части, из которых каждая может быть рассматриваема, как полоса. Разбивка сложной формы профиля на простейшей формы плоские элементы является основой фасонной калибровки, так как сводит процесс калибровки в основном к совокупности простейших калибровок.

Во избежание внутренних напряжений в металле, могущих возникнуть в последних пропусках, когда температура штуки является наинизшей, если в них будут иметь место неравномерные обжатия или вытяжки в разных элементах профиля, необходимо первоначальную грубую формовку профиля сделать в первых пропусках, когда металл имеет максимальную температуру и высокую пластичность, сводящую к минимуму появление упругих напряжений в различных частях профиля. В последних двух или трех калибрах необходимо придерживаться строго одинаковых вытяжек во всех элементах профиля, по возможности, соблюдая это правило также и для промежуточных калибров. Чем полнее соблюдается это правило, тем полнее гарантия получения вполне точного и ненапряженного профиля.

Наряду с этим в фасонной калибровке большую роль играет применение бокового давления для выработки плоских элементов калибра,

имеющих наклонное или вертикальное положение в калибре. При фасонной калибровке приходится иметь дело, по преимуществу, с вынужденным уширением, связанным с неодинаковыми рабочими диаметрами и в особенности с неравномерным распределением давления в разных частях профиля, а часто также и пользоваться им для лучшей выработки отдельных элементов его. Наконец, большое значение имеет правильное расположение калибра в разрезе валков как с точки зрения верхнего или нижнего давления, то есть определенного положения нейтральной линии, так и с точки зрения размещения элементов калибра в открытой и закрытой части его.

Неправильное или неудачное определение нейтральной линии ведет часто к чрезмерным напряжениям в стане, а неудачное размещение элементов калибра в открытой и закрытой части его ведет к недостаточно точной выработке профиля и неравномерному износу стенок калибра. Более подробное применение всех этих основных приемов изложим при рассмотрении калибровок различных профилей.

Рассмотрим калибровку углового, равнобокого, неравнобокого, зетового, колонного железа, как усложненной калибровки полосового железа таврового, двутаврового, коробчатого, швеллерного, рельс типа Виньоля и трамвайных, жолобочных, как постепенно усложняющиеся профили.

В фасонных калибрах не всегда линия прокатки проходит через центр тяжести калибра.

Проф. Тафель считает, что в несимметричных ручьях нейтральная линия калибра может в отдельных случаях и не проходить через центр тяжести его.

Так как обязательно, чтобы нейтральная линия калибра совпадала с линией прокатки, положение которой определяется величиной m , то необходимо уметь найти положение нейтральной линии каждого калибра.

Большинство авторов по калибровке считает, что нейтральная линия калибра всегда проходит через центр тяжести его.¹

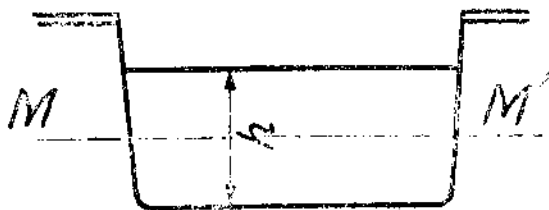
Проф. Тафель придерживается другого мнения, которое излагается ниже.

Для круглых и овальных калибров нейтральной линией и по Тафелю служит горизонтальный диаметр их; для квадратных — большей частью горизонтальная диагональ; для прямоугольных сечений — прямая MM' проходящая горизонтально посередине между двумя горизонтальными сторонами прямоугольника (фиг. 85).

Для калибров, которые нельзя разложить на несколько малых плоских прямоугольников, Тафель рекомендует следующий способ нахождения центральной линии, демонстрируя его на угловом калибре (фиг. 86).

Нейтральная линия проходит через середину высоты калибра h , которую определяют, как расстояние между двумя параллельными горизонтальными линиями, проходящими через наиболее выдающиеся точки калибра, в данном случае a , b и c . Предложенный способ совпадает с определением центра тяжести данной фигуры; таким образом, и здесь нейтральная линия проходит через центр тяжести калибра.

Если работающие поверхности ручьев параллельны линии валков и профиль можно разложить на несколько прямоугольников, то Тафель предлагает определять положение нейтральной линии следующим образом,



Фиг. 85.

¹ W. Tafel. Walzen und Walzenkalibrieren.

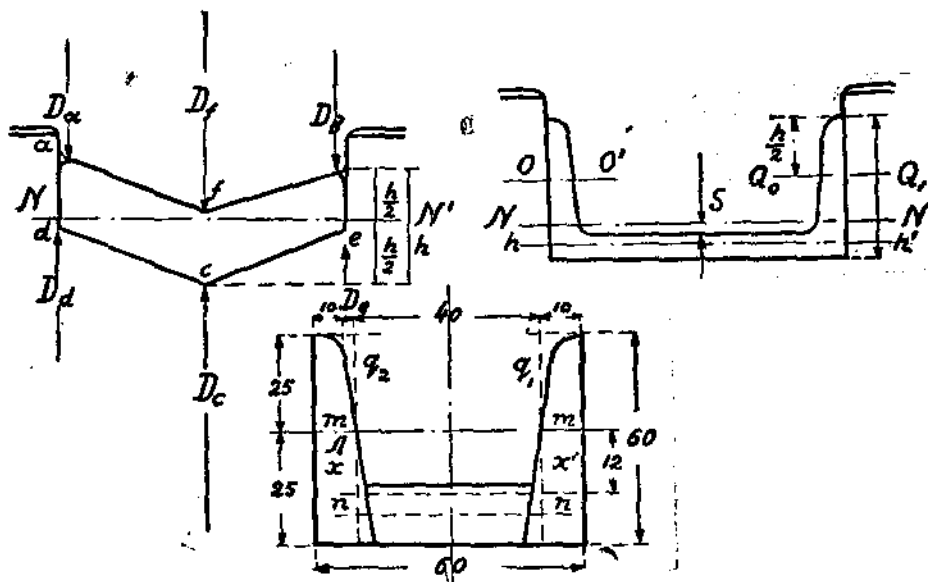
показанным им на профиле швеллера (фиг. 87), предварительно приводя применяемые в производстве разные другие методы.

а) Метод совпадения нейтральной линии с центром тяжести калибра (фиг. 87).

Находят отдельные центры тяжести фланцев и проводят через них нейтральные линии OO' и Q_0Q_1 .

Также проводят через центр тяжести ножки нейтральную линию для нее hh' . После этого проводят нейтральную линию NN' , проходящую через точку S , находящуюся от линий hh' и OO' в расстояниях, обратно пропорциональных площадям суммы фланцев, с одной стороны, и ножки — с другой.

Идея совпадения центра тяжести сечения с средней линией валков имеет в виду достижение уравнивания истечения металла в верхней



Фиг. 86, 87, 88.

и нижней половине полосы, вызываемого различными скоростями волокон металла в предположении прилипания их к поверхности верхнего и нижнего валка, как это было рассмотрено при изучении скорости прокатки.

Если диаметры валков одинаковы, то стремление верхней половины полосы загнуться кверху уравнивается тем же интенсивным стремлением нижней половины полосы загнуться книзу, благодаря равенству площадей сечения, лежащих по обе стороны нейтральной линии.

Но если имеет место верхнее (или нижнее) давление, то при условии, что линия прокатки совпадает с центром тяжести, указанное уравнивание не произойдет, так как верхние волокна благодаря верхнему давлению имеют стремление выгнуть полосу вниз, как это было разъяснено выше. В противопоставление этому дополнительному стремлению металла изгибаться вниз происходит усиленный изгиб кверху, благодаря смещению нейтральной линии от линии центров вниз.

Упомянутый выше дополнительный изгиб книзу вследствие верхнего давления уравнивает оба изгиба.

Каким же образом находится смещение нейтральной линии по отношению к центру тяжести калибра?

Табель полагает, что нейтральная линия должна проходить в расстояниях от нейтральных линий OO' суммы фланцев, с одной стороны,

и ножки, с другой стороны (hh'), обратно пропорциональных рабочим поверхностям калибра, примыкающим к этим частным нейтральным линиям.

Этим приемом учитывается влияние различного верхнего давления в шейке и в флянцах пропорционально поверхностям соприкосновения этих частей калибра, например, с валками (фиг. 88).

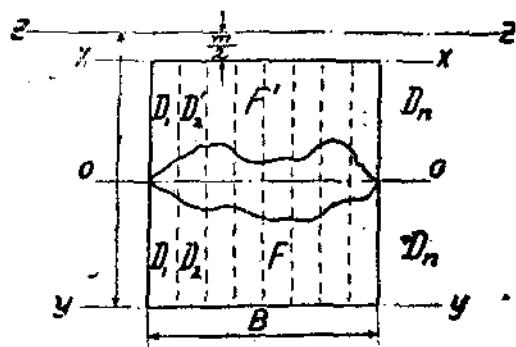
Прежде всего трапеции, из которых состоит профиль, превращаются в равновеликие им прямоугольники, и средний прямоугольник удлиняется до стыка с крайними. Другими словами, профиль разлагается на три прямоугольника. Затем для каждого в отдельности находят нейтральную линию. Для 1 и 3 она проходит через середину высоты полок (mt) — выше основания на 25 мм; для 2 — через середину толщины горизонтального прямоугольника (nl) — выше основания профиля на 7 мм.

Расстояние между обеими нейтральными линиями равно $25 - 7 = 18$ мм.

Работающие поверхности, примыкающие к линии mt , равны $2 \cdot 10 = 20$ мм; примыкающие же к линии nl равны $60 - 20 = 40$ мм.

Следовательно, результирующая нейтральная линия должна лежать, ближе к нижней нейтральной линии, для чего делим 18 мм на части обратно пропорциональные 20 и 40 или 1:2, т. е. 6 и 12.

Табель оправдывает правильность метода отзывом Ведиша, применившего этот метод на стане завода Пайна в сопоставлении с другими методами, а также ссылкой на собственный опыт.



Фиг. А.

Следует отметить еще два приема определения положения нейтральной линии для того же профиля.

Один заключается в том, что за нейтральную линию калибра принимают нейтральную линию ножки hh' (фиг. 87), если флянцы не высоки.

Другой заключается в том, что за нейтральную линию калибра принимают линию OO' (фиг. 87), если высота полок велика.

Оба эти метода, очевидно, не отвечают действительному расположению нейтральных волокон.

Нужно признать, что еще не выработано для фасонных профилей удовлетворительного метода определения положения нейтральной линии калибра¹.

Вероятно, положение нейтральной линии по отношению к центру тяжести сечения необходимо корректировать пропорционально поверхностям соприкосновения калибра с валками в частях с разным давлением и пропорционально этим давлениям.

Метод Даяля заключается в следующем:

При работе без верхнего и нижнего давления необходимо соблюдать правило, чтобы катающие диаметры были равны в среднем для обоих валков. Вследствие этого средние катающие диаметры также будут равны.

Пусть профиль калибра имеет причудливый вид, изображенный на фиг. А.

Разделим профиль на возможно большее число вертикальных полос. Обозначим катающие диаметры при каждой полосе для верхнего вала через $D_1, D_2, D_3, \dots, D_n$ и для нижнего вала — через $d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$. Из условия равенства средних катающих скоростей можем написать:

$$\frac{\pi n}{60} (D_1 + D_2 + D_3 + \dots + D_n) = \frac{\pi n}{60} (d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_n)$$

¹ Предложенный В. Далем (Stahl und Eisen, 1931 г. 21 мая) метод нахождения средних их диаметров также не решает вопроса полностью.

Отсюда:

$$\sum D = \sum D'.$$

Средние D_m и D'_m будут равны между собою, так как $\frac{\sum D}{n} = \frac{\sum D'}{n}$.

Для решения задачи проводим две произвольно расположенные оси $x-x$ и $y-y$.

При помощи планиметра или другим способом определяем площади F и F_1 , которые, очевидно, равны соответственно:

$$F = B \frac{D_m}{2} \text{ и } F' = B' \frac{D'_m}{2}.$$

Отсюда

$$D_m = 2 \frac{F}{B} \text{ и } D'_m = 2 \frac{F'}{B'}$$

Так как F и F_1 также B известны, то находим разницу $D_m - D'_m = m$.

Прибавляя к D'_m половину этой разницы $\frac{m}{2}$, получим равенство условных средних рабочих диаметров обоих валков.

Проводим в расстоянии $\frac{m}{2}$ выше оси $x-x$ ось zz , получаем условное положение осей валков $y-y$ и zz .

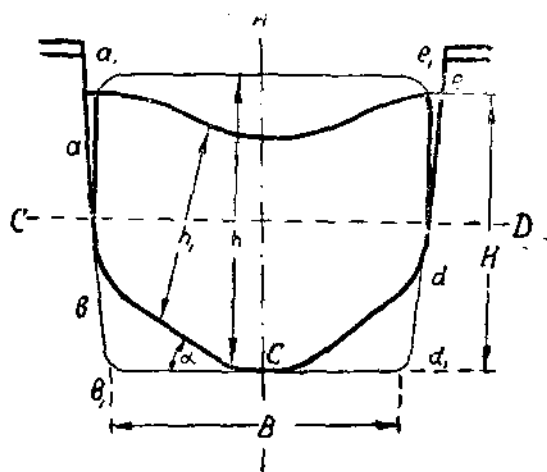
Разделив расстояние между этими осями пополам, получим положение нейтральной линии калибра, совпадающей с линией валков.

Если требуется дать верхнее или нижнее давление, то смещаем соответственно калибр вниз или вверх, как уже было выяснено ранее.

Этот метод можно применять к всевозможным калибрам.

Калибровка равнобокого углового железа

Угловое железо вырабатывается, как постепенно перегибающаяся полоса. Сначала квадрат раскатывается в прямоугольник в одном или двух



Фиг. 89.

плоских, т. е. не фасонных калибрах (плоская раскатка), затем следует ряд фасонных калибров, из коих первый изображен на фиг. 89; тонкими линиями очерчена плоская раскатка (или иногда квадрат), задаваемая в первый фасонный калибр. Ручей в данном случае вырезан в нижнем валку, в него входит реборда верхнего валка. Нейтральная линия калибра, проходящая через центр тяжести калибра, совпадает с средней линией валков, т. е. верхнего или нижнего давления не имеется или же дается очень малое верхнее давление.

Центр тяжести можно найти приблизительно на пересечении линий AB и CD , проходящих через середины ширины B и высоты H калибра; при этом пренебрегаем небольшим отклонением боковых граней калибра ab и de от вертикального положения.¹

¹ Точный способ нахождения центра тяжести трапеции см. ниже.

Ширину калибра следует брать равной ширине раскатки, сообщая боковым граням калибра ab и ed небольшой выпуск $2-5\%$ для точного центрирования сгибаемой в калибре полосы. На первый взгляд кажется, что здесь не предусмотрено уширение полосы, которое, однако, имеет вполне реальную величину вследствие имеющегося вместе с изгибом полосы нормального к образующимся полкам обжатия, равного $h+h_1$. При расчете уширения здесь следует иметь в виду, что таковое происходит отдельно на каждой полке, как на отдельно прокатываемых полосах, поэтому, пользуясь формулой Жеза для определения уширения $z=k(\Delta-\delta)$, находим общее уширение нижней кромки полосы, равное двойному уширению каждой полки. Что касается величины k , то его Жез рекомендует брать $=0,25$ для уголков малого размера и $0,30$ —для уголков большого размера, не давая этому правилу теоретического обоснования. Лучше придерживаться изменения k в зависимости от h и D по предложенной мной диаграмме фиг. 18 с поправками, указываемыми ниже. Рассмотрим теперь, имеется ли место в I калибре для этого уширения. В момент задачи углы b_1 и d_1 раскатки опираются на углы b и d калибра и в то же время гребень f давит на середину грани ae раскатки, сгибая ее и несколько обжимая ($h-h_1$).

Угол сгиба (закрытия) α при этом равен по предложению Жеза всегда $17^\circ 30' - 19^\circ$. При сгибе без обжатия, очевидно, длина нижней полки калибра bc будет больше длины b_1c ; разницу этих длин $bc-b_1c$ можно определить из следующего соотношения:

$$bc - b_1c = \frac{b_1c}{\cos \alpha} - b_1c = b_1c \cdot \frac{1 - \cos \alpha}{\cos \alpha}.$$

Пользуясь таблицей I находим для угла 17° значение множителя:

$$\frac{1 - \cos 17^\circ}{\cos 17^\circ} = \frac{0,0437}{0,9563} \approx 0,045.$$

Отсюда следует, что, принимая в первом пропуске постоянный угол закрытия, мы ставим уширение полосы вне зависимости от обжатия, но в зависимости от ее ширины b_1c , при чем чем шире полоса, т. е. чем выше номер уголка, тем предоставляемое уширению место больше. Последнее обстоятельство находит оправдание тому, что более высокие номера уголков прокатываются в валках большого диаметра, а, следовательно, допускают большие обжатия и в связи с этим большие уширения.

Подсчитаем размеры исходных квадратов для всех уголков нормального сортамента ОСТ, принимая по Жезу уширение для №№ 2—8 $k=0,25$ и для №№ 9—15 $k=0,3$ и пользуясь формулой выведенной нами для полосового железа:

$$x = \frac{2b + 2kS}{1 + 2k}$$

(здесь вместо k берется $2k$, так как уширение идет в обе стороны самостоятельно, $2h$ равно суммарной длине наружной кромки сечения уголка; b —длина полки).

По номограмме или расчетам находим размеры квадратов от 30 до 200 мм. Сообразно с этим целесообразно вести прокатку в валках, диаметр которых приведен в таблице 52.

Из таблицы видно, что некоторые номера дают широкий выбор D валков.

Так как на большинстве заводов не имеется налицо суммы станов всех указанных диаметров валков, то на разных заводах прокатка одних и тех же номеров проходит на разных станах.

В виду сказанного о значении диаметра валков для угла закрытия фасонного калибра и для связанного с номером уголка места

Таблица 52

№№ угол.	<i>D</i>	по Брово <i>D</i>
2—3,5	260—300	№№ 1 ¹ / ₂ —3 ¹ / ₂ 260
3—5	350	№№ 4—5 ¹ / ₂ 430
4—8	400—450	№№ 6—11 550
6—10	500—550	
8—12	600—650	№№ 12—16 750
10—15	700	

в калибре для уширения, целесообразно в каждом частном случае определять этот угол закрытия. Однако Брово дает вполне определенное распределение равнобокого углового по станам, приведенное в 3-ем столбце (таблица 52). Здесь мы находим, что все номера уголков могут быть разбиты на 4 группы. При выборе диаметра валков для данного номера уголка в указанных пределах следует руководствоваться, с одной стороны, соображением, что, чем меньше диаметр валков, тем больше скорость прокатки, но, с другой стороны, тем меньше обжатия и, следовательно больше число пропусков и тем больше напряжения в различных частях профиля. Напряжения в разных частях профиля тем больше, чем больше разница в скоростях разных точек калибра и металла.

Рассмотрим два крайних случая прокатки уголка № 8 в валках 450 и 600 мм, взяв чистовой пропуск.

На фиг. 90 изображено положение калибра в валках.

Средняя линия *CD* прокатки проходит через центр тяжести калибра O_1 , находящийся на линии *AB* в расстоянии 22,5 мм от линий *ab* и *cb*, или в расстоянии $1,42 \cdot 22,5 = 32$ мм от точки *b* по линии *AB* и в расстоянии $bc \sin 44^\circ 45' - 32 = 81,071 - 32 = 25$ мм от уровня *ac*.

$$O_1 f = O_1 b - bf = 32 - 1,41 \cdot 12 \approx 16 \text{ мм.}$$

Ручей вырезан в нижнем валку, калибр замыкается ребордой *A* верхнего валка. Точка *b* принадлежит нижнему валку.

Определим катающие диаметры крайних точек калибра *a, b, c, d, e, f*, а также относительные скорости этих точек к скорости металла, считая, что последняя определяется окружной скоростью стана *D*. Достаточно определить скорости точек *b, c, d* и *f* в виду симметрии остальных. Результаты подсчета поместим в таблице 53.

Таблица 53

	<i>D</i> =450				<i>D</i> =600			
	<i>b</i>	<i>f</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>b</i>	<i>f</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
<i>D</i>	396	482	500	390	536	632	650	540
<i>V</i>	86	107	111	87	89	105	108	90
V_0	100	100	100	100	100	100	100	100
$V - V_0$	-14	+7	+11	-13	-11	+5	+8	-10
	21%		24%		16%		18%	

Из таблицы 53 в сопоставлении с фиг. 90 видно, что металл у вершины угла и на краях полок обрабатывается различно, и разница между скоростью металла и обрабатывающими поверхностями, а следовательно, и напряжения, тем больше, чем меньше диаметр валка. Разность скоростей валков в углах калибра при вершине, направленных относительно

полосы в разные стороны, равна 21% при $D=450$ и 16% при $D=600$. То же на краях полок — 24% при $D=450$ и 18% при $D=600$.

Такая обработка металла способствует возникновению напряжения, а также и увеличению вытяжки и уменьшению уширения, поэтому вообще коэффициент уширения k , при прокатке уголков должен быть меньше, чем при прокатке полос при тех же обжатиях D ; кроме того, этот коэффициент должен тем более приближаться к коэффициенту k для полосового железа, чем больше D .

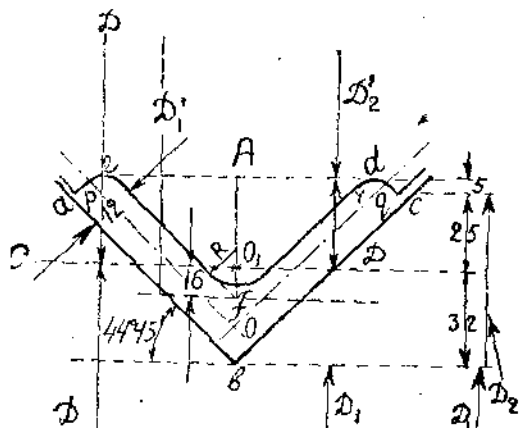
Отсюда следует, что при пользовании диаграммой (фиг. 18) целесообразно выбирать k для D несколько меньший, чем диаметр данного стана.

Теперь перейдем к рассмотрению правил построения следующих фасонных калибров, и в частности рассмотрим число пропусков, ряд коэффициентов изменения толщины полок, величины закрытия углов в связи с уширением калибра и радиусов закруглений.

Постепенное изменение толщины полок и число пропусков можно определить тем же приемом, какой был изложен при калибровке полосового железа, если уже определен размер исходного квадрата.

Имея сторону квадрата x и толщину полок готового профиля, определяем произведение p искоемых коэффициентов относительных толщин.

$$p = \frac{X}{S}.$$



Фиг. 90.

Подыскивая в таблице 46 ближайшее значение p , определяем по нему число калибров n и ряд относительных коэффициентов толщины полок, как это было показано при калибровке полосового железа. В найденное число калибров входит 1 квадратный калибр и обычно 1 или 2 плоских раскаток; таким образом число фасонных калибров обычно равно $n=2$ или $n=3$.

Если позволяет диаметр валков, можно выбросить еще один калибр, усилив соответственно в некоторых калибрах коэффициенты, начиная с третьего или четвертого от конца, так как при калибровке углового железа необходимо придерживаться так же, как и при полосовом железе, правила, что обжатие в чистовом калибре всегда 1 мм, в предотделочном — 2 мм. Лучше всего выбрасывать четвертый с конца калибр, в котором обжатие обычно мало и он без особой надобности тормозит прокатку. Выше было уже сказано о величине угла закрытия в первом (по направлению прокатки) фасонном калибре. Жез рекомендует во всех случаях придерживаться $\alpha = 17^\circ 30' - 19^\circ$,¹ не приводя для этой величины рациональных оснований. Выше мы указали, чем нужно руководствоваться при выборе и определении этого угла в каждом частном случае и в дальнейшем применим это на примере калибровки.

Затем в остальных калибрах необходимо этот угол постепенно увеличивать до тех пор, пока в чистовом калибре он не будет равен $\alpha_n = 44^\circ 45'$. В чистовом калибре следует брать этот угол несколько меньше 45° для того, чтобы после охлаждения прокатанной полосы она получил нужную поправку, подобно тому, как это делается при прокатке квадратного железа. Таким образом постепенному закрытию подлежит угол $\alpha_n - \alpha_1$, кото-

¹ Другие авторы не указывают строго величины угла α .

рый у Жеза равен $44^{\circ} 45' - 17^{\circ} 30' = 27^{\circ} 15'$. Жез рекомендует закрывать угол в каждом калибре на величину, пропорциональную обжатию в этом калибре, чтобы произвести постепенный загиб в соответствии с температурой и вытяжками.

Вредные напряжения при изгибе (растягивающие снаружи и сжимающие внутри угла) ослабляются этой постепенностью изгиба, который при высоких температурах, т. е. при первых фасонных калибрах, можно безопасно делать энергично. В последних пропусках, когда пластичность металла мала, необходимо этот изгиб делать минимальным.

Замечено, что изгиб без обжатия более опасен, чем сопровождающийся обжатием, поэтому также и с этой точки зрения целесообразно максимальный изгиб применять в первых фасонных калибрах, в которых обжатия максимальны.

На основании сказанного следует считать правило Жеза рациональным. Применение этого правила будет показано на примерах калибровки. Другие авторы не придают существенного значения указанному постепенному изменению угла сгиба. Так, Кирхберг рекомендует увеличивать угол закрытия, начиная от первого фасонного калибра, на 5° в каждом калибре, мотивируя это большей простотой расчета. Брово придерживается постепенности в сгибе. Можно связать закрытие угла с величиной уширения в каждом пропуске, как это рекомендует делать И. М. Павлов.¹ Однако лучше придерживаться возможно большего угла закрытия в первом фасонном калибре на том общем основании для фасонной калибровки, что всякого рода неравномерные и сильные деформации лучше всего проводить при высоких температурах и, по возможности, в первом фасонном профиле. Если при расчете на уширение окажется, что $\alpha < 17^{\circ} 30'$, то лучше его взять $17^{\circ} 30'$, как проверенный на безопасность прокаткой. Если при этом окажется, что калибр излишне просторен для действительного уширения, то можно или увеличить обжатие полок, или увеличить радиусы закруглений. Построенные таким образом калибры не нуждаются в выпуске, т. е. уклоне боковых граней. Они могут быть вертикальными, так как впуск обеспечивается достаточной просторностью калибра благодаря растущему наклону нижних граней. Наоборот, при калибрах для крупных номеров возможно даже некоторое сужение горизонтальной ширины калибров в направлении прокатки, что будет ясно из примеров калибровки.

Несколько слов об измерении длины полок в каждом калибре. В этом отношении все калибры следует разбить на две группы:

1) Чистовой и 1 или 2 предотделочные калибра имеют полки трапециодальной формы (см. фиг. 91 *abfe* и *cbfd*), поэтому их длину надо принять по средней линии трапеции *op* и *oq*. В этом случае, если обозначить длину полки по нижней кромке профиля (*ab*) через b , то средняя линия обеих полок вместе (B) будет равна:

$$B_1 = 2b_1 - S \text{ и } b_1 = \frac{B_1 + S}{2},$$

где S — толщина полки.

2) Остальные фасонные калибры имеют полки в виде параллелограмма (трапеции здесь весьма близки к параллелограмму — фиг. 89 *abcf* и *cdfe*), поэтому их средняя длина совпадает с длиной нижних кромок, следовательно их суммарная длина B_n равна:

$$B_n = 2b_n$$

Эти замечания пригодятся нам в дальнейшем при рассмотрении примеров калибровки. Имеют существенное значение закругления углов как

¹ „Металлург“ 1928 г. № 2

в чистовом, так в прочих фасонных калибрах. Чистовой профиль имеет установленные нормальным сортаментом радиусы закруглений R и r (фиг. 100). они и применяются в чистовом калибре. В остальных калибрах толщина OO_1 должна изменяться в том же отношении, в каком изменяется толщина полки S .

Жез рекомендует брать $R=1,25 S$ и $r=0,5 S$ для чистового и предотделочного калибров, а для остальных определять их путем последовательного умножения на коэффициенты толщины. Тафель рекомендует для r пользоваться таблицей 43, данной для полосового железа, а в отношении R придерживаться указанного выше правила Жеза. Кирхберг рекомендует брать:

$$R_n = S_n \text{ и } r_n = 0,5 S_n.$$

Пример калибровки равнобокого углового железа

Обращаясь к сортаменту черных прокатных металлов ОСТ, находим следующие разновидности углового железа; равнобокое от № 2 до № 15,¹ неравнобокое — от № 3/2 до 16 8², остроугольное, равнобокое и неравнобокое, железо для колец, скрепляющих бандаж с ободом колеса, углубльбовое, угловое для бочек, для верхнего дверного вигонного рельса.

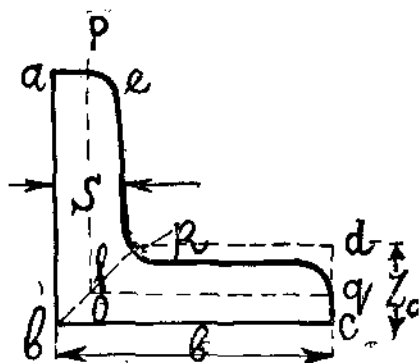
Рассмотрим для примера калибровку уголка № 8, пользуясь методом Жеза с некоторыми нашими изменениями. По нормальному сортаменту ОСТ уголок № 8 имеет следующие размеры (таблица 54).

Таблица 54

№	b	S	R	r	Площадь поперечн. сеч. E	Вес P	Расстоян. ц. тяж. z_0	Горячие размеры	
								b	S
80	80	8	10	5	12,27	9,63	2,25	81	8,1
		10			15,11	11,86	2,34		10,2
		12			17,87	14,03	2,41		12,2

$$F=2bS-S^2. \text{ Допуски } b=\pm 3\%; S=1 \text{ мм}$$

Положение углового профиля в чистовом калибре представлено на фиг. 91 и 99. Для определения размеров исходного квадрата поступаем так же, как было нами указано при рассмотрении калибровки полосового железа, при чем казалось бы необходимо принять в расчет, как было выяснено выше, что после перегиб: по юсы пополам длина внутренней кромки уголка efd меньше длины наружной кромки abc на $2S$, что ясно из чертежа (фиг. 91). Лучше всего измерять средние длины полки по линии poq , тогда длина наружной кромки уголка будет больше средней лишь на величину S , как ясно из чертежа. Жез рекомендует определять суммарную длину полки по средней длине, т. е. исходя из размера $2b$, где b и S — размеры в горячем состоянии, но для получения размера квадрата прибавлять S .



Фиг. 91.

¹ Число того или другого номера обозначает длину полки в сантиметрах.

² Числа дроби обозначают длины обеих полки в сантиметрах.

Так как прокатка полосы, загибаемой в уголок, сопровождается уширением, определяемым по формуле Жеза:

$$z = k(\Delta - \delta),$$

то сторона квадрата определяется из уравнения

$$x = 2b - S - k(x - S), \quad (1)$$

откуда

$$x = \frac{2b - S(1 - k)}{1 + k}.$$

Примем для данного случая $k = 2 \cdot 0,25 = 0,5$.

Подставляя значения $b = 81$, $k = 0,5$, $S = 8$, получим

$$x = \frac{2 \cdot 81 - 8 \cdot 0,5}{1,5} = 105 \text{ мм.}$$

Окончательно

$$x = 105 + 8 = 113 \text{ мм.}$$

Почти тот же результат получается, если пользоваться формулой для полосового железа, где $k = 0,5$.

$$x = \frac{2b + kS}{1 + k} = 111 \text{ мм.}$$

Поэтому проще всегда и пользоваться этой формулой.¹

Размер исходного квадрата нам нужен для определения P .

$$P = \frac{111}{8,1} = 13,7.$$

По таблице 46 находим, что прокатка может быть проведена в 9 калибрах (см. гр. 7, ст. 3), или 8 калибрах (гр. 6, ст. 4), или, наконец, в 7 калибрах (гр. 5, ст. 6). В число этих калибров входит 1 квадратный и 1 плоский, не фасонный, следовательно, фасонных пропусков имеем 7, 6 или 5. В стане 450 придется взять 7 пропусков, в стане 550 — 6 пропусков и в стане 600 — 5 пропусков. Коэффициент относительных высот (толщина) полок приведены в таблице 55, где ведем калибровку в стане 500, т. е. в фасонных калибрах. Проверим угол захвата в VI калибре по таблице I.

$$1 - \cos \varphi = \frac{40}{550 - 52} = 0,08; \varphi \approx 23^\circ$$

Таблица 55

№№ калиб.	Коэффиц.		h_m	$\Delta - \delta$	Исправлен.		$2k_z$	z	B	b	R	r
	табл.	испр.			$\Delta - \delta$	S						
I	1,0	1	8,1	1	1	8,1	0,8	0,8	153,9	81	10	4
II	1,114	1,125	9,1	2	2	9,1	0,6	1,2	153,1	80,6	11	4,4
III	1,228	1,240	11,1	4,2	5,4	11,1	0,6	3,2	151,9	75,95	13,5	5,4
(IV)	1,342	1,355	15,3	7,1	—	—	—	—	—	—	—	—
IV	1,46	1,466	22,4	13,2	11,5	16,5	0,6	10,5	148,7	74,35	20	8
V	1,570	1,585	35,6	24,9	24	28	0,50	12,0	138,2	69,1	34	13
VI	1,684	1,700	60,5	50,5	(60) 40	52	0,38	15,2	126,2	62,85	63	25
VIIa	Раскатка				19	92	—	—	11	55,5	—	—
VII	1,8	1,825	111	—	—	111	—	—	111	—	—	—
P	12,7	13,7			$\Sigma = 102,9$							

¹ Предыдущий способ приведен потому, что им пользуется Жез.

Примечание. Поправка $\sqrt[7]{\frac{13,7}{12,7}} \approx 1,01$. Неувязку вследствие неточности поправки исправляем в VII калибре. Найдя, что в VII и (IV) калибрах обжатия слишком малы, пропускаем (IV) калибр. Вместо него вводим VIIa для уменьшения угла захвата в VI калибре. Распределяем $\Delta - \delta$ так, чтобы

$$\Sigma \Delta - \delta = 111 - 8,1 = 102,9 \text{ мм.}$$

Следовательно обжатие 40 мм в данном стане вполне приемлемо. Окончательный размер квадрата и ширины (т. е. длины профиля) раскатки определим по уширениям. Коэффициент уширения определяем по диаграмме фиг. 18 по линии $D=600-400$. Графа B означает суммарную длину полок по средней линии $B_1=2 \cdot 81 - 8,1 = 153,9$ по формуле $B_1 = 2b - S$, приведенной выше. Затем ряд B_2, B_3 и т. д. определяется вычитанием из предыдущей длины уширения: $B_2 = B_1 - z = 153,9 - 0,8 = 153,1$, $B_3 = B_2 - z_2 = 153,1 - 1,2 = 151,9$ и т. д. Графа b означает длину одной полки в каждом калибре. Длину полок определяем по заданию $b_1 = 81$. $b_2 = b_1 - 0,5z = 81 - 0,4 = 80,6$. Дальнейшие калибры имеют длину $b = \frac{B}{2}$, как было выяснено ранее, так как их крайние длины равны средним длинам. Окончательно раскатку получаем 92×111 и квадрат 111×111 мм. Жез для того же примера находит раскатку 92×113 мм. Горизонтальная проекция ширины чистового калибра равна $81 \cdot 1,41 = 141$ мм. Приняв ширину раскатки 111, получаем, что все калибры имеют почти одну и ту же ширину в горизонтальной проекции, что и было отмечено выше. Определим угол закрытия α из выражения (фиг. 88):

$$bc = \frac{b_1 c}{\cos \alpha_1} \text{ или } \cos \alpha_1 = \frac{b_1 c}{bc}.$$

Так как в данном случае $b_1 c = 55,5$ и $bc = 62,85$, то $\cos \alpha_1 = 0,883$, откуда $\alpha_1 = 28^\circ$. Получается чрезмерно большой угол для первого пропуска, не встречающийся на практике, а поэтому небезопасный. Принимаем поэтому $\alpha_1 = 19^\circ$ максимальный по Жезу. В таком случае получим $bc = \frac{55,5}{0,945} = 58,7$

Следовательно, недостающее уширение будет:

$$62,85 - 58,7 = 4 \text{ мм}$$

Его необходимо обеспечить выпуском:

$$2 \cdot \frac{52}{2} = 0,077, \text{ т. е. } 7,7 - 8\%.$$

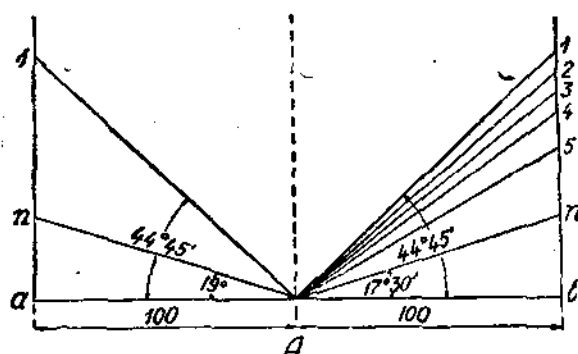
Другое решение вопроса заключается в том, что так как шестой калибр при угле 19° имеет горизонтальную ширину больше, чем ширина раскатки на $2(62,85 \cdot \cos 19^\circ - 55,5) = 7,8$ мм, то можно также уменьшить обжатие в первом фасонном пропуске, увеличив таковое при прокатке квадрата в раскатку. Для нахождения углов закрытия полок в следующих калибрах определим величины, пропорциональные обжатиям,¹ начиная с чистового калибра, поместив вычисление в таблице 56. Так как нет особенной надобности в особой точности углов закрытия, то упрощаем данный ряд коэффициентов.

Далее следовало бы ради точности разделить угол $27^\circ 15'$ на части, пропорциональные найденному ряду, но так как оперировать при вычерчивании калибровки с углами хуже, чем с тангенсами или синусами углов, то Жез предпочел воспользоваться тангенсами углов. Можно, не прибегая к таблицам тангенсов, решить вопрос графически, как представлено на фиг. 92. Поместив на горизонтальной линии в точке А вершину

¹ Жез объявив этот принцип, в действительности берет ряд, пропорциональный высотам полок, начиная с чистового калибра. Мы будем придерживаться строго этого принципа при вычислении пропорционального ряда.

№ кал.	Коэф. обжатия	Коэф. испр.	Отрезок $\lg$ при $\alpha_1 = 19^\circ$	Отрезок $\lg$ при $\alpha_1 = 17^\circ 30'$	100 $\lg \alpha$	$\lg \alpha$	α	$\cos \alpha$	b	x	$x - 55,5$
I	1,125	1,1	9,8	10	10	99	0,99	44°43'	81	7,5	2
	1,240	1,2	11,2	11	11	89	0,890	41°50'	80,6	60,0	4,5
	1,486	1,5	13,5	13	13,5	78	0,780	38°	78,46	59,6	4,1
IV	1,700	1,7	15,2	15	15,5	65	0,650	34°	74,35	62	6,5
V	1,770	1,8	16,0	16	17,5	60	0,60	31°	69,1	59,2	3,7
VI	Σ	7,3	64,7	67,5	67,5	34	0,31	18°47'	62,85	59,3	3,8

уголка таким образом, чтобы биссектриса прямого угла этого уголка была вертикальна, откладывают от нее влево и вправо отрезки aA и bA . В точках a и b проводим вертикали, на коих откладываем графически или подсчетом тангенсы углов 19° , $17^\circ 30'$ и $44^\circ 45'$, умноженные на длину отрезка aA .



Фиг. 92.

Если взять длину отрезка $aA = bA = 100$ мм, то отрезок $bn = 100 \cdot \lg 17^\circ 30' = 31,53$; отрезок an на вертикали слева $= 100 \cdot \lg 19^\circ = 34,43$; отрезки a (и b) на вертикалях слева и справа $= 100 \cdot \lg 44^\circ 45' = 99,13$. Так как нами был принят $\alpha_1 = 19^\circ$, то подлѣжит делению на пропорциональные части отрезок $nl = 99,13 - 34,43 = 64,7$ при $\alpha_1 = 19^\circ$ и $nl = 99,13 - 31,53 = 67,6$ при $\alpha_1 = 17^\circ 30'$. Найдя сумму членов пропорционального ряда (таблица 58), равную 7,4 полу-

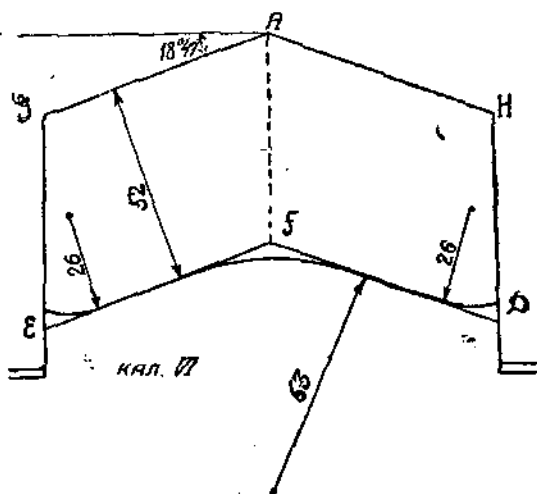
чаем ряд пропорциональных отрезков: $\frac{64,7}{7,3} \cdot 1,1 = 9,8$; $\frac{64,7}{7,3} \cdot 1,2 = 11,2$ и т. д.

(см. таблицу 56). Рядом в таблице поставлены округленные до 0,5 мм числа, которыми и руководствуются при дальнейшем построении. То же сделано на правой стороне диаграммы, построенной для $\alpha_1 = 17^\circ 30'$. Результаты подсчета приведены в таблице 38. Полученные на фигуре 92 диаграммы для предельных углов α_1 , данных Жезом $17^\circ 30'$ и 19° , годятся для калибровки всех номеров, катаемых в 6 фасонных калибрах. Подобные же диаграммы легко построить для другого числа пропусков в фасонных калибрах.

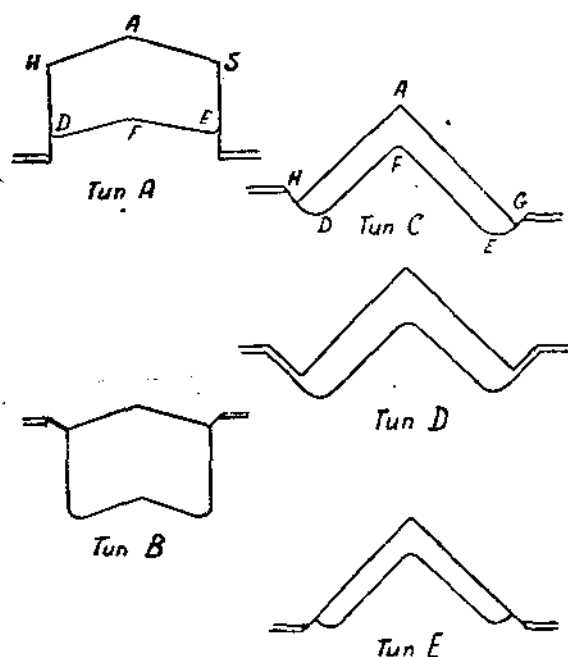
Посмотрим кстати, как уменьшаются углы закрытия в нашем примере при $\alpha_1 = 19^\circ$. Результаты вычислений приведены в таблице 56. Посмотрим, насколько отступают крайние точки калибров от вертикальной линии, ограничивающей ширину плоского калибра. Для этого найдем для каждого калибра горизонтальную проекцию длин полок $x = b \cos \alpha$ и найдем разность проекций с шириной ($x_0 = 55,5$) половины плоского калибра $x - 55,5$; результаты вычислений приведены в таблице 56.

Мы видим, что эти отступления имеются ввиду, хотя и незначительные. Благодаря им мы имеем некоторый впуск в каждом калибре. Пользуясь данными таблицы 55 и диаграммой фиг. 92, вычертим абрисы всех калибров в направлении прокатки. Первый фасонный калибр, шестой (фиг. 93) от конца прокатки, вычерчивается следующим образом: при помощи диаграммы фиг. 92 проводим линию AG под углом $18^\circ 47'$ (см. таблицу 56). На ней откладываем длину $b_6 = 62,85$ (AG). В точке G про-

водим вертикальную линию GE , как боковую грань калибра. От линии AG в расстоянии (по перпендикуляру к ней), равном толщине полки $S_p = 52$ мм, проводим параллельную AG линию FE . Пересечение обеих параллельных линий AG и FE с вертикалями GE и AF образуют очертание левой полки VI калибра. Таким же образом строится правая полка калибра $AHDF$. Остается снабдить калибр закруглениями, вписав в угол при F касательную окружность радиуса $R = 63$ мм (таблица 55). Из остальных углов подлежат постепенному закруглению углы при D и E радиусом r .¹ Прокатка углового железа обычно проводится в вальках трио. Жез помещает при прокатке уголок всегда вершиной угла вверх (или всегда вниз) и, таким образом, полоса фактически не кантуется, но зато чередуются положение стыка реборд (замков) то у верхней (E и D), то у нижней (G и H) кромки калибров. Если замок приходится при E и D , то закругление радиусом r приходится делать неполное, чтобы входящая в калибр реборда валька не имела слишком заостренных, а следовательно, и непрочных кромок у E и D . Поэтому центр закругления надо помещать очень близко к вертикальным граням калибра. При этом надо иметь в виду следующие



Фиг. 93.



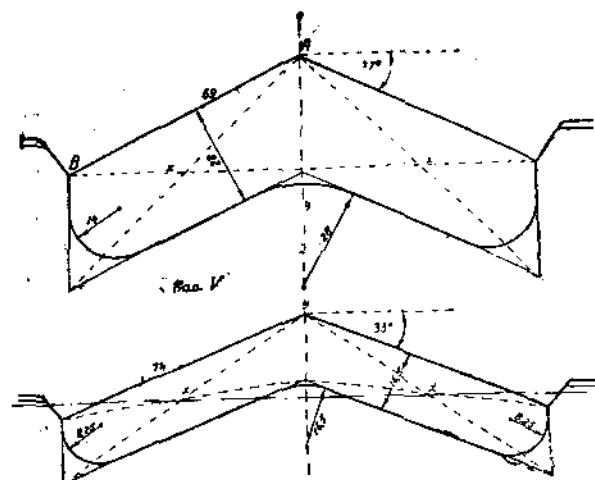
Фиг. 94.

приемы размещения замка (фиг. 94). Тип А с замком у E и D применяется обычно в I и III фасонных калибрах (по ходу прокатки). В этом типе закругление при E и D неполное. Полное закругление может быть осуществлено по типу В и в предотделочных калибрах по типу D. Тип С представляет собой среднее между В и D состояние, предшествующее предотделочному калибру, наконец, тип Е относится к чистовому калибру. Полное развитие закруглений радиусом r можно получить лишь в калибрах типа В, D и Е. Брову пользуется для I и II фасонного калибра типом В, помещая их друг над другом и кантуя полосу на 180° ; III фасонный калибр он обычно ставит типа А, не кантуя полосы; IV фасонный калибр он применяет типа D,

также благодаря этому не кантуя полосы, затем для всех остальных, кроме чистового, он применяет также тип D, но при этом необходимо

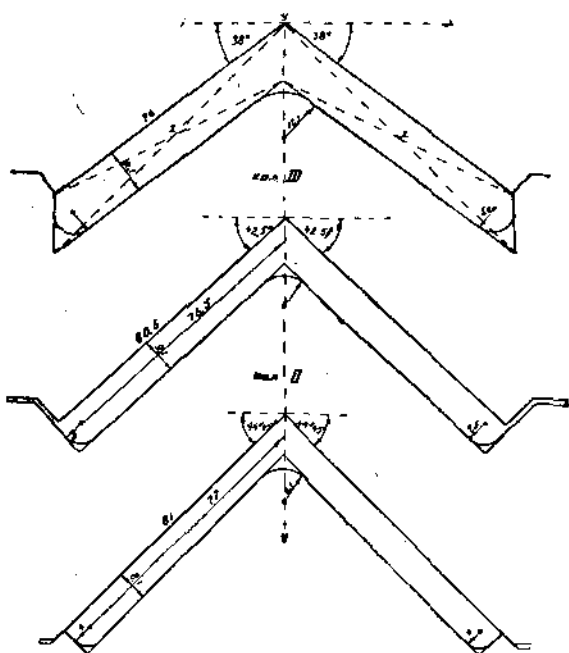
¹ Углы G и H немного притупляются малым радиусом.

от калибра к калибру кантование полосы на 180° . Чистовой калибр ставится типа *Е*. Кстати отметим особенность калибровки Брово в отношении углов закрытия калибра. Нужного для чистового калибра угла Брово достигает в первых четырех фасонных калибрах, во всех остальных угол наклона полок не изменяется, в этих калибрах производится лишь утоньшение и вытяжка полок. Такого рода прием представляет большое удобство для получения уголков одного и того же номера, но разной толщины в одних и тех же калибрах посредством изменения вертикальной установки валков. Для изменения углов закрытия в первых четырех фасонных калибрах он не дает никакого правила; здесь целесообразно применять правило Жеза. Калибровка Брово — для уголка



Фиг. 95, 96.

№ 5 $\frac{1}{2}$ представлена на фиг. 100 (см. Брово, т. 28, фиг. 4). Возвратимся к построению рассчитанных нами калибров при условии *некантования* полосы, обращенной вершиной вверх. В VI фасонном калибре делаем закругление по типу *А*. Следующий V фасонный калибр строится по тем же правилам, однако закругления в нем делаем по типу *В* (фиг. 95), при чем наружная кромка калибра лежит на линии *А*, построенной по диаграмме фиг. 92¹, с закруглениями по типу *В*, III калибр по типу *В* (фиг. 97), II — по типу *Д* (фиг. 98) и I чистовой — по типу *Е* (фиг. 99). В последних двух калибрах ширину полок откладывают по средней линии (76,5 и 77 мм), в то время как в предыдущих можно было откладывать их более удобно на наружных кромках. Для определения положения центра тяжести калибров, составленных из параллелограммов (калибры VI—III), пользуемся тем, что параллелограммы полок размещены симметрично и, следовательно, центр тяжести всего сечения лежит в точке пересечения линии вертикальной оси симметрии (*yy'*) с линией (*xx'*), проходящей через центр тяжести параллелограммов, находящихся в точке пересечения их диагоналей. Что касается калибров, полка которых представляет трапеции (калибры I—II), то центр тяжести трапеций определяется графически приемом, изобра-

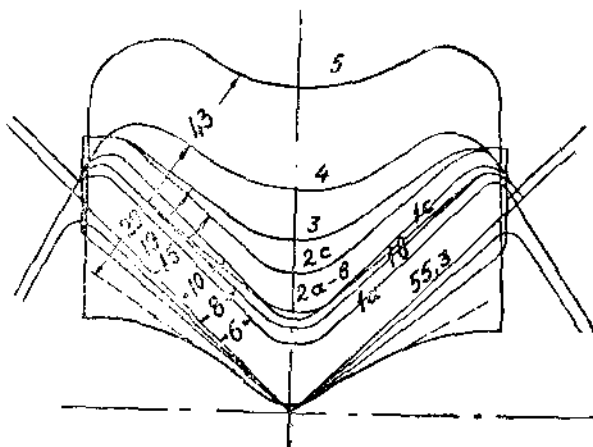


Фиг. 97, 98, 99.

¹ Так же строится IV калибр (фиг. 96).

женным на фиг. 101. Центром тяжести является точка O . Линия $ae=cd$, линия $af=ab$ и gh проходит через середины ab и cd .

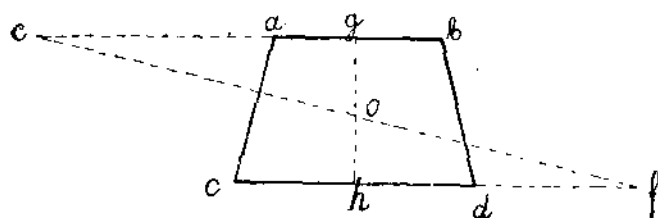
В одних и тех же калибрах, вычерченных не только по методу Брово, но и по методу Жеза, можно прокатывать уголок одного и того же номера, но разной толщины. Этот прием оказывается вполне удовлетворительным, если разница в толщине колеблется в пределах 1—2 мм. При больших разностях получаются недостаточно хорошо выполненные кромки. Этот недостаток исправляется, если полкам уголка в калибрах придавать развернутый вид (фиг. 102). В этом случае подъем валков не отражается заметно на длине полок и форме их кромок. Более подробно об этом скажем при рассмотрении калибровки неравнобоких уголков.



Фиг. 100.

Калибровка неравнобоких уголков

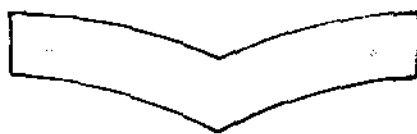
По нормальному сортаменту ОСТ отношение полок неравнобокого углового железа равно 2:3 за исключением №№ 8/4 и 16/8, где это отношение равно 1:2; кроме того, в №№ 10/6,5 и 13/9, отношение которых 1:3 соблюдено не вполне точно. Наш нормальный сортамент



Фиг. 101.

значительно облегчает прокатки уголков тем, что число толщин не превышает трех, при чем калибровка должна вестись по средней толщине с таким расчетом, чтобы, сдвигая или раздвигая валки на 1—2 мм, можно было получить соседние

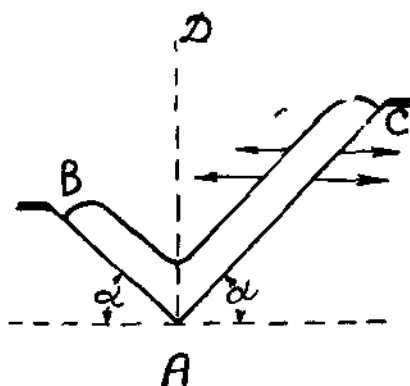
толщины полок. Это последнее замечание относится также и к равнобокому угловому железу. Выберем для примера калибровку уголка № 10/6,5. При калибровке неравнобоких уголков применяются два основных вида расположения калибров: 1) биссектриса внутреннего угла AD вертикальна (фиг. 103) и 2) биссектриса внутреннего угла AD наклонна (фиг. 104). В первом случае одна полка глубже врезается в валок, чем другая, вследствие чего катающие диаметры на концах одной полки значительно отличаются от таковых другой полки калибра. Это производит уже выясненную ранее разницу в уширении и усиливает напряжение металла. Кроме того, вертикальная проекция правой полки больше, чем левой; поэтому создается неоднородное боковое давление на валки, стремящееся сдвинуть ребро верхнего валка влево, а нижнюю—вправо, как показано это стрелками на фиг. 103. Вследствие этого длинная полка получается толще короткой, если не принять меры при назначении толщины полки в калибре, учитывающие эту боковую игру валков, неизбежную даже при самой тщательной настройке их. Но наряду с этими



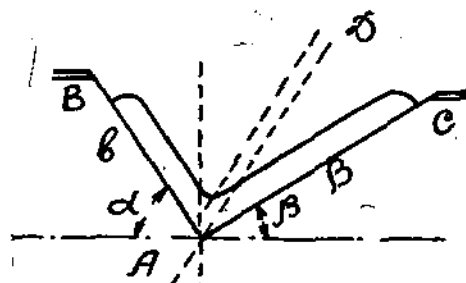
Фиг. 102.

недостатками этот вид расположения калибра имеет то преимущество, что при нем возможно прокатывать в одном и том же калибре уголки с разной толщиной полок, с таким же успехом, как и при прокатке равнобоких уголков, так как положение биссектрисы угла при этом остается неизменным и, следовательно, толщина полок всюду изменяется одинаково. Второй вид расположения калибра страдает, наоборот, тем

недостатком, что совершенно не допускает изменять толщину полок, так как при подъеме верхнего валика биссектриса изменяет свое направление,



Фиг. 103.

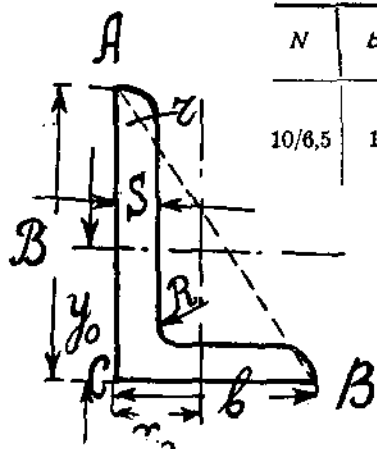


Фиг. 101.

раздвигаясь (фиг. 104) и, следовательно, толщина полок будет не одинакова: левая полка будет тоньше правой. Зато этот вид расположения калибра не имеет недостатков первого расположения. Поэтому при втором способе необходимо делать, по крайней мере, чистовые калибры отдельно для каждой толщины, а лучше это делать и для предотд-лочных калибров, что увеличивает сильно парк валков. Вычислим размер исходного квадрата для уголка № 10/6,5. По нормальному сортменту уголок № 10/6,5 имеет следующие размеры (фиг. 105, таблица 57).

Таблица 57

N	B	b	S	R	r	F	кг/м	Расчет. цен. тяжести	
								x_0	y_0
10/6,5	100	65	8	9	4,5	1265	9,93	15,6	32,8
			10			1559	12,24	16,4	33,7
			12			1845	14,48	17,2	34,5



Фиг. 105.

Допуски: $B \pm 3\%$; $b \pm 3\%$; $S \pm 1$ мм. Определим размер исходного квадрата при расположении калибра по второму типу и число пропусков при прокатке в стане $D=550$ мм. Жез берет исходный квадрат, исходя из того, что ширина раскатки равна отрезку AB (фиг. 105), т. е. длине гипотенузы треугольника. Следовательно, ширина раскатки должна быть равна:

$$AB = \sqrt{B^2 + b^2} = 119 \text{ мм.}$$

Отсюда ширина квадрата может быть меньше на величину уширения, например, 110—115 мм.

Определим ширину исходного квадрата по нашему методу. Найдем размеры горячего профиля: $B=100 \cdot 1,015=101,5$; $65 \cdot 1,015=66$; $S=10 \cdot 1,015=10,2$ или

$$x = \frac{101,5 + 66 - 10,2 \cdot 0,5}{1,5} = 115 \text{ мм.}$$

Определим число пропусков и коэффициент относительных высот (толщин) полок:

$$P = \frac{115}{10,2} = 11,3.$$

Пользуясь таблицей 46, находим, что прокатку можно вести в 7 пропусков (ст. 5, гр. 5), из которых 6 пропусков фасонных. Поместим дальнейший расчет в таблице 58.

Таблица 58

№ кал.		h_n	S	Δb	$2k_r$	Z	Σb	B	b	R	r	Отре- зки	$10 \lg a$	α	Окр. ^а	$M^* x^0$	$\lg \beta$	β
I	1	10,2	10,2	1	0,8	0,8	157,3	101,5	66	9	4,5	18,6	48,6	56°4'	56°	54,8	0,647	33°
II	1,15	11,7	11,2	2	0,8	1,2	156,5	101,1	65,6	11	5,5	21	180	52°26'	52°30'	47,9	0,566	29°30'
III	1,30	15,3	13,2	8,8	0,6	5,3	155,3	100,5	63	12	6	23,4	109	47°28'	47°30'	40,2	0,475	21°30'
IV	1,15	22,1	22	14	0,6	8,4	150	97,8	62,3	20	10	25,9	8	40°	4' 40°30'	31,8	0,375	21°30'
V	1,6	35	36	26	0,52	13,5	141,6	86,9	58,1	32	16	28,3	59,7	30°30'	3' 30°30'	2,0	0,260	14°30'
VI	1,75	62,0	62	33	0,30	10	118,1	86,9	51,4	55	28	31,4	31,4	17°30'	17°30'	11,6	0,137	8°
VIa	Раскат											148,6						
II	Σ	7,25	95	20	0,20	4	118,1	101,1										
VII	1,90	117	115				114,1	101,5										

Как видно из всего хода расчета, размер квадрата не зависит от типа расположения калибров в валках. Сумма длин полок по средней линии в чистовом калибре равна: $\Sigma b = 101,5 + 66 - 10,2 = 157,3$. Ширина чистовых полок по нижней кромке $B = 101,5$ и $b = 66$. Коэффициент уширения определяем по диаграмме 18 по линии $D = 500$. В последующих калибрах Σb определяется последовательным вычитанием уширения, точно также последовательным вычитанием половины уширения определяются B и b . Радиусы закруглений в чистовом профиле берем из таблицы 37, а в последующих, пропорционируя их с высотами полок. Итак, имеем раскатку 95×119 мм и квадрат 115×115 мм. Теперь мы имеем все данные для вычерчивания отдельных калибров, которые мы проведем и по первому и по второму ряду расположения их в валках. При вертикальном положении биссектрисы углы (2) наклона обеих полок к горизонту одинаковы и равны 45° (в калибрах берут $44^\circ 45'$). При наклонном же положении они различны. Обозначим их через α и β (см. фиг. 104). Найдем эти углы, если дано, что $\frac{B}{b} = 1,5$. Можем написать уравнение:

$$B \sin \beta = b \sin \alpha.$$

Отсюда

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{B}{b} = 1,5$$

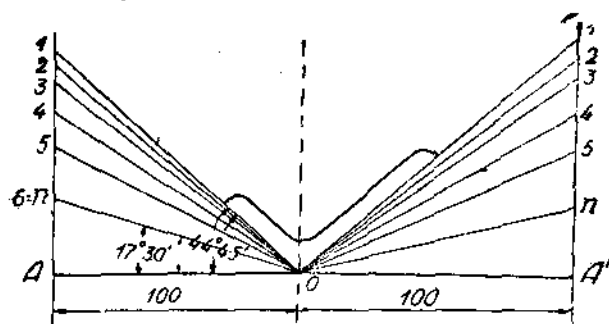
или так как

$$B = 90 - \alpha;$$

$$\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \lg \alpha = 1,5$$

Отсюда $\alpha = 56^\circ 19'$ и $\beta = 90^\circ - 56^\circ 19' = 33^\circ 41'$. Увеличивая внутренний угол на $10'$, т. е. принимая его равным $90^\circ 30'$, уменьшаем для чистового углы α и β на $15'$. Получаем окончательно: $\alpha = 56^\circ 04'$ и $\beta = 33^\circ 26'$. Определим углы закрытия в фасонных калибрах.

Вертикальное положение биссектрисы. Здесь поступаем следующим образом (фиг. 106): откладываям под обеими полками углы $17^{\circ}30'$. Проводим вертикаль AB в расстоянии 100 мм от вершины угла и находим тангенсы углов.



Фиг. 106.

$$\begin{aligned} & - 100 \operatorname{tg} 44^{\circ}45' = 99,13 \\ & - 100 \operatorname{tg} 17^{\circ}30' = 31,53 \end{aligned}$$

$$\text{Разница } n' = 67,60$$

$$\begin{aligned} \Sigma h &= 1,15 + 1,30 + 1,45 + \\ &+ 1,60 + 1,75 = 7,25. \end{aligned}$$

Делим длину отрезка $n1 = 67,6$ мм на части, пропорциональные данному ряду, и точки деления 1, 2, 3 и т. д. соединяем с вершиной угла O и на-

ходим таким образом графически постепенное закрытие угла слева. Проведем теперь вспомогательную вертикаль по другую сторону от вершины в расстоянии также 100 мм находим на ней симметрично уже найденные точки 1, 2, 3... горизонтальных линий до пересечения их с второй вертикалью $A'B'$. Соединяя найденные точки с вершиной угла O прямыми линиями, находим и справа постепенное закрытие угла. Откладывая слева и справа найденные длины (таблица 58) по юк B и b , а также их высоты S и проводя внутренние линии полок параллельно наружным, как мы это делали при калибровке равноугольного уголка, находим абрисы калибров. Остается закончить их закруглениями, пользуясь радиусами, помещенными в таблице 58.

Наклонное положение биссектрисы. Здесь поступаем только что описанным образом для определения углов закрытия при короткой полке, исходя из угла $17^{\circ}30'$ (фиг. 107). Проводим вертикаль AB в расстоянии 100 мм от вершины O и находим тангенсы углов:

$$- 100 \operatorname{tg} 56^{\circ}04' = 148,62$$

$$- 100 \operatorname{tg} 17^{\circ}30' = 31,45$$

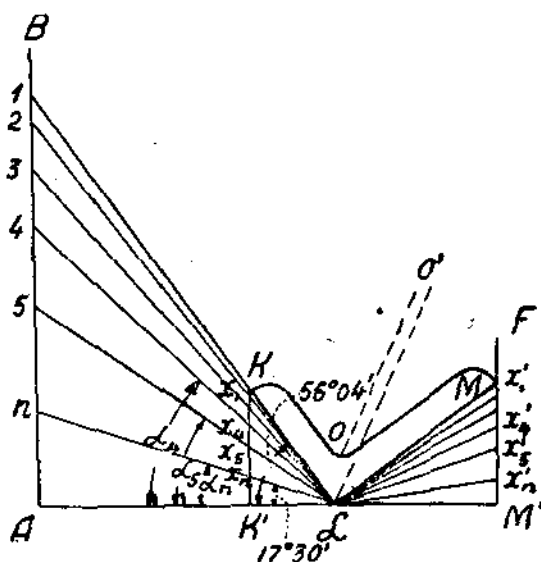
$$\text{Разница } n1 = 117,17$$

Делим длину отрезка $1-n = 117,17$ на части, пропорциональные тому же ряду, что и раньше, и находим точки 1, 2, 3... n . Таким образом строим углы закрытия при короткой полке.

Проведем KK' (вертикальную проекцию короткой полки), находим на этой проекции точки $x_1, x_2, \dots, x_n$.

Так как вертикальная проекция MM' длинной полки равна KK' , то легко находятся точки $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, соединив которые с вершиной L , находим углы закрытия при длинной полке. Не трудно вычислить отрезки по вертикали AB , а также углы закрытия α и β . Делим отрезок $n' = 117,17$ на части, пропорциональные ряду: $1,1 + 1,30 + 1,45 + 1,60 + 1,75 = 7,25$

По найденным отрезкам, сумма которых равна 117,2, находим высоты $100 \operatorname{tg} \alpha$, а по ним и углы α , помещенные в таблице 58.



Фиг. 107.

Для определения вертикальных проекций $K'-x$, равных $M'-x$, пользуемся найденными углами закрытия α_2 до α_1 , из выражения $Kx = K'L \operatorname{tg} \alpha_1$; $K'x_2 = K'L \operatorname{tg} \alpha_2$ и т. д.

Но $K'L = 66 \cos 56^\circ 04' = 36,84$ мм. а $\operatorname{tg} \alpha$ известны из таблицы 58. Поэтому имеем:

$$K'x_1 = M'x_1 = 36,84 \cdot 1,486 = 54,8$$

$$K'x_2 = M'x_2 = 36,84 \cdot 1,300 = 47,9 \text{ и т. д. (см. таблицу 58).}$$

В то же время эти отрезки равны $LM' \operatorname{tg} \beta$, а $LM' = B \cos \beta$, где B есть переменный угол закрытия полки $\beta_1 = 33^\circ 26'$, LM' — горизонтальная проекция ее. Следовательно искомые $\operatorname{tg} \beta = \frac{M'x'}{LM'}$ помещены в таблице, а $LM' = 101,5 \cdot \cos 33^\circ 26' = 101,5 \cdot 0,8345 = 84,7$.

Результаты подсчетов для $\operatorname{tg} \beta$ приведены в таблице 58.

Центры радиусов закруглений внутреннего угла помещаются на биссектрисе внутреннего угла OO' .

Абрисы калибров строятся, как для равнобоких уголков.

Приведенный метод калибровки одного из простейших фасонных профилей углового железа имеет целью указать те главнейшие моменты, которые необходимо иметь в виду при выработке фасонной калибровки.

Но наряду с предусмотренными вложенным методом моментами на практике приходится иметь дело с весьма многими другими факторами, принуждающими в более или менее значительной степени отступать от нормальной калибровки. В числе таких факторов отметим следующие:

1. Прокатка иногда ведется в стане, диаметр валков которого не отвечает нормальному диаметру стана для прокатки данного сорта. Это обстоятельство влечет за собой иные обжатия, иные скорости, иное число пропусков, иные температурные условия и т. д.

2. Недостаточная мощность двигателя при стане или, наоборот, весьма высокая мощность двигателя позволяют в ту или другую сторону изменять число пропусков, а следовательно, и калибровку.

3. Весь производственный антураж: программа прокатки, соотношение работы печей, отдельных линий стана, уборочных и отделочных средств, число клеев, число оборотов валков, оборудование стана, качество металла, технические условия приемки, даже квалификация вальцовщиков и мастеров и т. д., не могут не оказывать влияния на характер калибровки, так как основной задачей калибровщика кроме получения основного профиля является достижение возможно большей производительности стана в данных условиях производства.

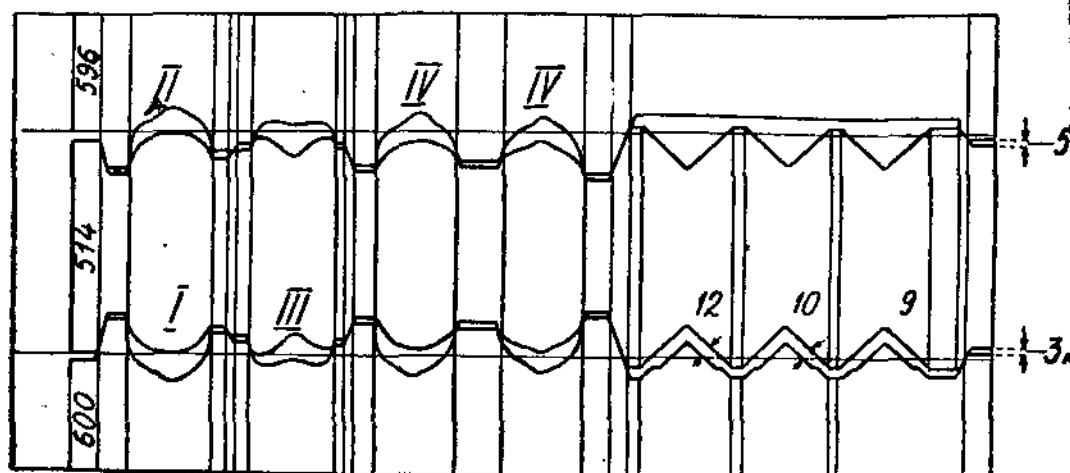
Поэтому калибровка валков какого-либо профиля, приспособляясь к изменяющимся условиям производства, часто меняется даже в одном и том же заводе. В виду сказанного в этой работе не представляется возможным излагать все те приемы, которыми пользуется калибровщик для решения стоящих перед ним задач — это дается знанием всей совокупности прокатного дела, т. е. опытом и ясным пониманием поведения металла в валках, достижению которого мы стремимся помочь настоящей работой.

Рассмотрим в качестве примера и для иллюстрации сказанного прокатку и калибровку углового равнобокого (фиг. 108) и неравнобокого (фиг. 109) железа на одном из заводов Югостали¹ на стане 550.

Стан состоит из 4 клетей трио, расположенных в одну линию. Первая клеть является обжимной с длиной бочки валков 2632 мм, вторая и третья — подготовительные с длиной бочки 1525 мм и четвертая — отделочная с длиной бочки 750 мм.

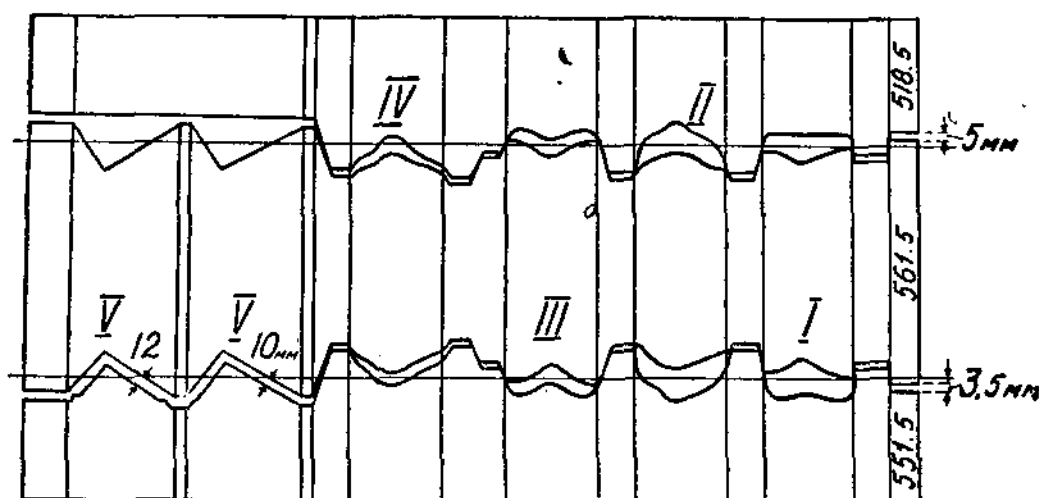
¹ Нижеприведенные данные сообщены мне инженером С. П. Миковым.

Обжимная клеть с передней стороны оборудована рольгангами, а с задней — подъемным столом. Предотделочные клетки рольгангов ни с задней, ни с передней стороны не имеют и работа производится на крючках. Отделочная клеть имеет рольганг с задней стороны, транспортирующий прокатанное железо к пиле и на стелюги.



Фиг. 108.

На стане производится прокатка угольников равнобоких от 65×65 до 120×120 и неравнобоких от 50×75 до 100×150 . Прокатка всех уголков осуществляется в 5 пропусков из прямоугольной заготовки толщиной 86 мм и шириною, соответствующей размерам уголков. На фиг. 108 представлена калибровка равнобокого, а на фиг. 109 — неравнобокого уголка.



Фиг. 109.

Следует отметить следующие две особенности прокатки на этом стане: 1) необходимость прокатывать на стане весьма разнообразные профили; 2) прокатка крупных профилей, не соответствующих стану 550 и при том также в 5 пропусков.

Эти особенности оправдываются следующими обстоятельствами:

- возможностью держать в двух подготовительных клетях валки разных профилей, уменьшающие перевалку валков;
- облегчением труда рабочих и повышением производительности.

Последнее достигается тем, что сокращается число пропусков в подготовительной на два и на столько же увеличивается число пропусков в обжимной клетке, оборудованной механической подачей штуки к калибру, в то время как при подготовительных клетках необходимо подтаскивать 12—24-пудовую штуку к калибру вручную. Вместе с тем указанный прием способствует уменьшению поломок валков, обычно происходящих при чрезмерном охлаждении штуки.

Описанные приемы калибровки обуславливаются также тем обстоятельством, что к продукту прокатки не представляется особых требований: катаются торговые сорта, позволяющие использовать одни и те же калибры для разных толщин уголков.

С увеличением процента заказов на качественное угловое железо придется перейти на другую калибровку.

В заключение рассмотрения калибровки простейшего вида фасонного профиля необходимо отметить одну особенность деформации фасонного профиля, которая не затрагивается авторами сочинений по калибровке, но которая, несомненно, имеет весьма большое значение для правильного решения задачи построения калибров; эта особенность мною уже была отмечена ранее и представлена на фиг. 27. Речь идет о том, что, если разбить профиль на части вертикальными сечениями, то каждая часть профиля захватывается валками неодновременно с соседней частью, и поэтому во время охлаждения штуки через силовое поле между валками происходит гораздо более сложное перемещение металла, чем полагают авторы, опускающие эту сторону дела. Если это имеет место в довольно сильной степени при прокатке ромба в квадрате или овала в квадрате, то в фасонных профилях указанное явление еще более усложняется. Так например, применяя метод построения, подобный принятому нами на фиг. 27 этой работы к угловому железу, легко найти, что вершина уголка будет захвачена ранее, чем края полки, если, как это делает Брово в последних пропусках, угол штуки остается неизменным. Если же угол закрытия изменяется, то в каждом частном случае можно найти, какие части профиля захватываются раньше, какие — позже.

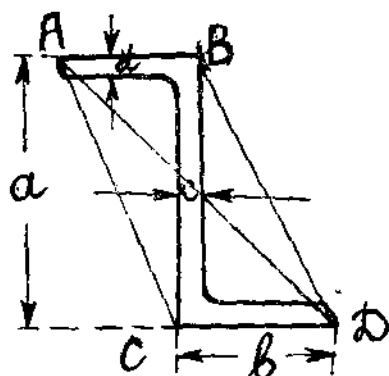
Следует помнить, что передний торец (вообразим его вертикальным) штуки входит в широкий зев калибра и приходит в соприкосновение со стенками профиля, представляющего сечения конических поверхностей калибра вертикальной плоскостью, совпадающей с плоскостью торца штуки. Вообразив ряд параллельных плоскостей секущих калибров, получим ряд профилей этих сечений, стороны которых должны представлять собою отрезки параболы, как следы сечения конусов плоскостями, параллельными оси этих конусов. Отсюда ясно, что все точки периферии сечения штуки в его торце не могут прийти одновременно в соприкосновение с поверхностью калибра. Поэтому при изучении калибровки было бы необходимо выработать метод, при помощи которого можно было бы учитывать указанное явление. В виду того, что такого рода метод еще не выработан, мы ограничимся здесь пока только вышеприведенными замечаниями, чтобы обратить внимание интересующегося вопросами калибровки на это важное явление.

Калибровка зетового железа

Профиль зетового железа состоит из ножки и двух флянцев, находящихся на концах этой ножки под углом 90° к ней. Если разрезать ножку пополам, то получим два равнобоких или неравнобоких уголка. Этим обстоятельством пользуемся, чтобы свести калибровку рассматриваемого профиля к калибровке уголков.

Нормальный сортамент ОСТ предусматривает 5 размеров зетового железа с высотой ножки от 60 до 200 мм, из которых рассмотрим калибровку размера № 20 (фиг. 110). Высота ножки $a=200$; толщина

$c=10$ мм, ширина флянцев $b=80$ мм и толщина их $d=15$ мм. Разрезавши ножку пополам, мы имеем два неравнобоких уголка № 8/10. Размеры №№ 6, 8 и 10, т. е. a 60, 80 и 100, следует катать в стане 550; размеры $a=140$ и 200 — в стане 750. Следовательно выбранный для рассмотрения профиль будет кататься в стане 750.



Фиг. 110.

полученную окружность выше линии MN дугой радиуса NB . В пересечении получаем точку B . Проведя из точки B диаметр, получаем точку A^1 . Впрочем, Брово рекомендует давать шейке уклон 45° ². A и D являются местом разреза валков. Точки B и C являются фиксированными во всех калибрах и служат исходными при построении каждого калибра, иначе говоря, во всех калибрах расстояния между B и C , а также точки B или C от средней линии остаются постоянными, равными таковым в чистовом калибре. При постепенном утоньшении ножки это правило обуславливает постепенное удлинение ее. Последнее уясняется из следующего построения (фиг. 112). Ножка из параллелограмма $ABCD$ в первом пропуске превращается в параллелограмм A_1BCD_1 в чистовом пропуске. При одной и той же длине диагонали BC длина ножки A_1C в первом пропуске меньше длины ножки A_0C в последнем пропуске, так как угол $\alpha > \alpha_0$. Чем больше угол α приближается к углу α_0 , тем больше сторона AC приближается к проекции диагонали A_0C ; наоборот, чем меньше угол α , тем больше длина стороны AC приближается к длине диагонали. Таким образом, уширение, или, вернее, растяжение ножки совершенно устраняется.

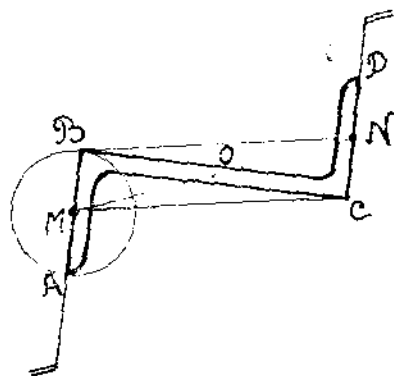
Так как положение точек B и C сохраняется постоянным не только относительно друг друга, но также и относительно средней линии валков, то легко определяется уширение (растяжение) ножки в каждом пропуске геометрически или аналитически.

Очевидно

$$A_1C = \frac{A_0C}{\cos(\alpha_0 - \alpha_1)} \quad \text{и} \quad AC = \frac{A_0C}{\cos(\alpha_0 - \alpha)}$$

¹ Этим вполне определяется положение профиля.

² Правило Брово дает то преимущество, что в случае изменения толщины профиля, подъем валков одинаково изменяет толщину всех частей его.

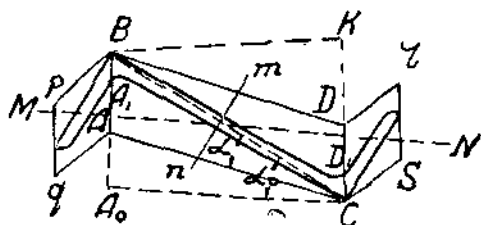


Фиг. 111.

Отсюда

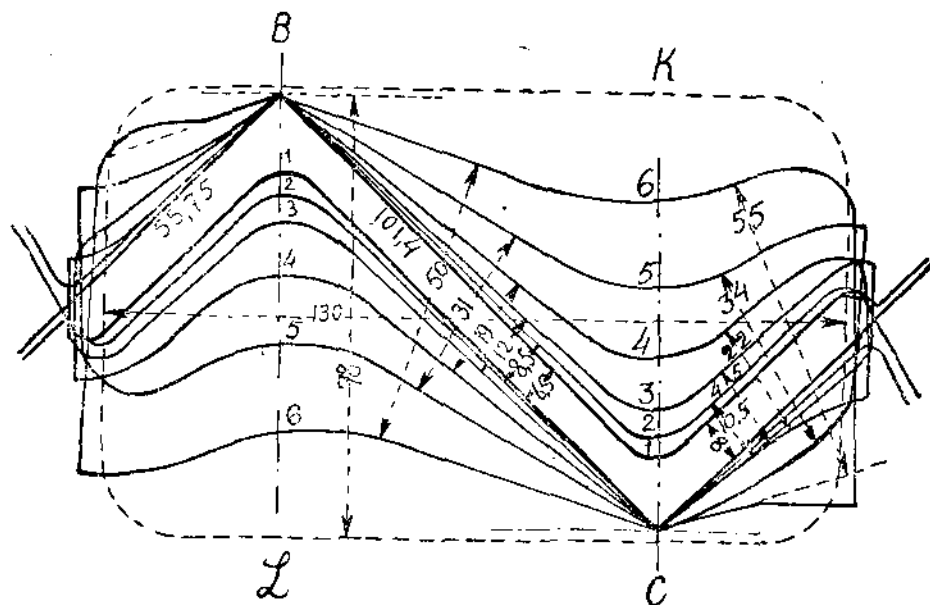
$$z = A_0 C \left[\frac{1}{\cos(\alpha_0 - \alpha_1)} - \frac{1}{\cos(\alpha_0 - \alpha)} \right]$$

Принятое Брово постоянное положение точек B и C в валках во всех калибрах определяет собою, в сущности, всю калибровку от последнего плоского калибра до чистового в отношении постепенного закрытия углов, так как на перпендикуляре к постоянному направлению диагонали ножки, т. е. к линии BC по обе стороны откладываются половины высоты калибра (фиг. 112) так, что высота калибра равна mn . Точка m соединяется с B и точка n соединяется с C . Таким образом, создается очертание ножки в любом калибре, и, следовательно, углы закрытия определяются сами собою. Далее линии Bp и CS проводятся с уклоном, равным уклону BD и AC ; линии qa и Dr параллельны своим парам, что касается линий pq и rS , то их положение определяется, как в угловом железе. Таким образом, каждый калибр получает вполне определенные очертания.



Фиг. 112.

Поясним описанный процесс построения калибров на примере. Рассчитаем калибровку зета № 10 (фиг. 113).



Фиг. 113.

При определении размера исходного квадрата необходимо руководствоваться следующими соображениями: фактическое уширение полосы происходит лишь на краях левее LB и правее CK , так как длина BK остается, как было выяснено выше, неизменной. В шейке происходит не уширение, а растяжение металла. Благодаря этому растяжению центральная часть полосы имеет ослабленную вытяжку, вызывающую вынужденное уширение флянцев. Коэффициент уширения флянцев надо считать здесь значительно выше предлагаемых Жезом.

Из приведенных у Брово калибровок можно считать этот коэффициент по проекции полок равным около 0,2—0,30 на обе полки, а по длине

полок 0,40—0,65 на обе полки. Длина ножки 100-1,014. Принимая расположение ножки под углом 45° к средней линии валков, находим длину средней части калибра $BK=101,4: \sqrt{2}=72$. Двойная длина флянцев равна $2 \cdot 55,75: \sqrt{2}=111,5: \sqrt{2}=79$ мм. Полная ширина чистового калибра B равна $72+79=151$ мм.

Отсюда искомый квадрат

$$x = \frac{B+0,22S}{1,22} = \frac{151+0,22 \cdot 8}{1,22} = 125 \text{ мм}$$

$$P = \frac{125}{8} = 15,6.$$

По таблице 46 выбираем ряд коэффициентов высот, отвечающий 7 калибрам.

Вычисление высот (толщин) элементов калибров приводим в таблице 59.

Таблица 59

№№ кал.	Коеф.	$h_{\text{пол}}$	по Брову		$\Delta - \delta$	K_z	Z	b флянцев	h ножки		
			K	$h_{\text{пол}}$					по Брову	по вы- числ.	округ- ляем
I	1	8	1	8	2,5	0,4	1,5	$55,75-4=51,75$	6,5	6,5	6,5
II	1,26	10	1,31	10,5	2	0,4	0,8	$54,75-5=49,75$	8,5	8,5	8,5
III	1,39	14	1,38	14,5	7,5	0,4	3	$53,75-6=48$	12	11,7	12
IV	1,52	22	1,52	22	12	0,4	4	45	19	18,3	19
V	1,65	36	1,55	34	22	0,3	6	41	31	29,5	30
VI	1,78	65	1,62	56	23	0,25	6	35	50	48,6	50
VII	1	—	1,56	78	47	0,1	4	29	78	78	78
VIII	—	125	1,61	125	—	—	—	25	125	125	125

Выбрасываем коэффициент II калибра, как дающий слишком малое обжатие.

Полученные нами данные весьма мало отличаются от калибров Брову главным образом в VI и VII калибрах, где полученные нами слишком большие обжатия побуждают нас к введению промежуточного плоского калибра, как это обычно и получается при калибровке полосового железа. Поэтому для дальнейших расчетов примем столбец по Брову.

Принимая уширение флянцев в четырех последних фасонных профилях 0,4 и затем постепенно уменьшающееся до нормы $0,35-0,25=0,10$ получим длины флянцев по наружному краю и по средней линии трапеции, помещенные в таблице 59 и совпадающие с калибровкой Брову.

Толщина ножки меньше толщины флянцев. При назначении постепенного утоньшения ножки нужно руководствоваться следующими правилами, обязательными для всякой фасонной калибровки: 1) коэффициенты вытяжки во всех частях профиля должны быть одинаковыми; 2) неодинаковые вытяжки можно допускать, по возможности, только в первых калибрах по порядку прокатки.

Соблюдение этого правила здесь уменьшает искажение уширения флянцев.

Практически можно взять коэффициенты толщин ножки одинаковыми с таковыми для флянцев, корректируя высоты первых по порядку прокатки пропусков. Результаты подсчетов для ножки по коэффициентам флянцев приведены в таблице 59 и совпадают с данными Брову.

Калибровка квадратного (колонного) профиля (фиг. 114) производится по такому же принципу, т. е. при постоянных точках углов B и C . Размер квадратного профиля по ОСТ приведен в таблице 60.

Таблица 60

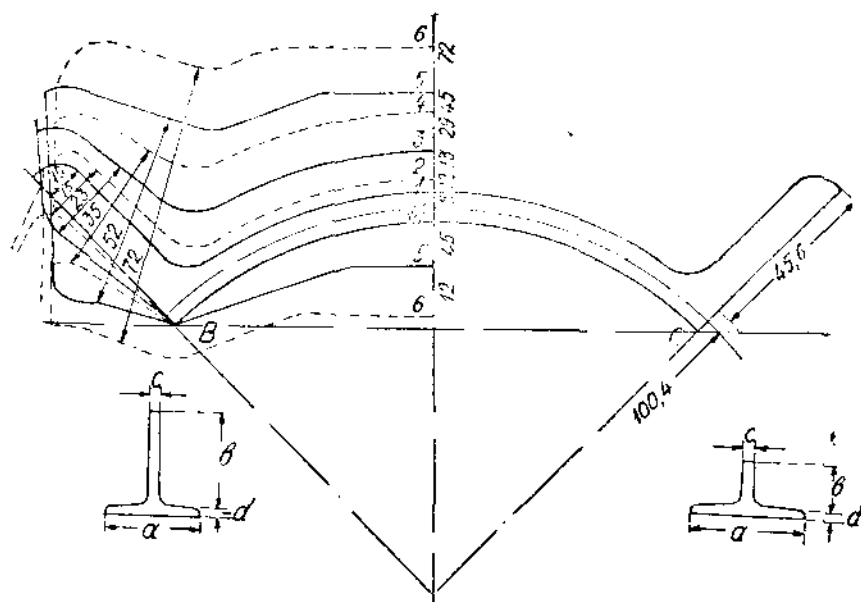
<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
50	35	4	6
75	40	6	8
100	45	8	10

Калибровка таврового железа

По сортаменту ОСТ тавровое железо различается высокое и низкое по высоте ножки (фиг. 115 и 116). Размеры указаны в таблице 61.

Таблица 61

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
25	25	3	3,25
40	40	5	6
50	50	6	6
75	75	8	8
60	30	6	6
80	40	7	7
100	50	9	9



Фиг. 111, 115, 116.

Калибровка таврового железа лучше всего освещена Тафелем.¹

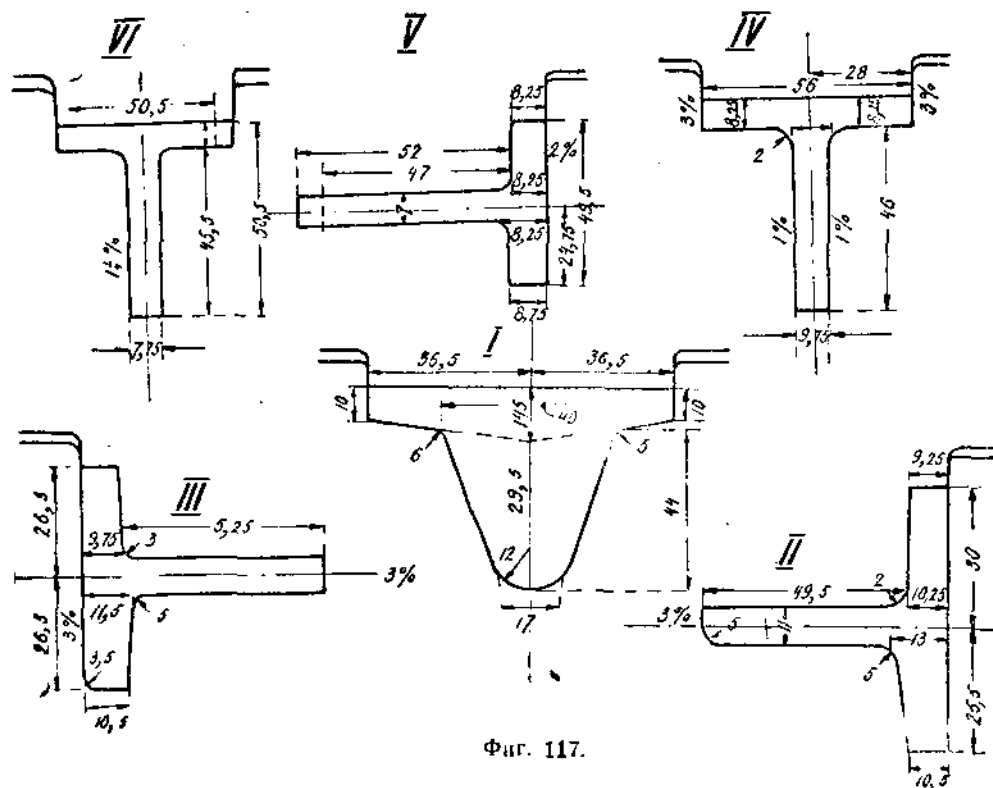
Тавровый профиль разбирается Тафелем на три части, из которых каждая рассматривается им, как полоса: а) ножка, б) правая половина головки, в) левая половина головки.

¹ В. Тафель. Прокатка и калибровка.

Чтобы оценить правильность такого деления, рассмотрим положение профиля в калибре.

В чистовом профиле ножка вертикальна, опущена вниз (фиг. 117, VI) и глубоко врезана в нижний валок; в предотделочном она горизонтальна, при чем одна половина головки находится между ребрами верхнего и нижнего валка, а другая половина глубоко врезана в нижнем валке (фиг. 117, V). Таким образом, обе половинки головки здесь обрабатываются в совершенно различных условиях, как это было выяснено при разборе условий деформации флянец валка в открытой и закрытой части калибра.

В следующих калибрах положение профиля продолжает чередоваться таким же образом (фиг. 117, IV—I).



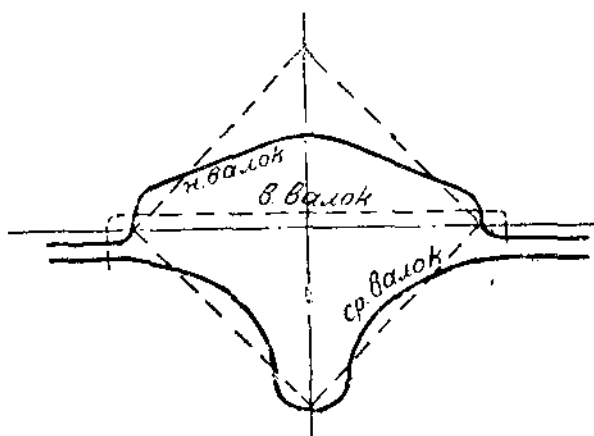
Фиг. 117.

Мы выяснили ранее, что в открытой части калибра флянец обычно подвергается значительной вытяжке и боковому давлению и задается в нее значительной толщины, в закрытой части калибра флянец проволочивается и поэтому во избежание сильного износа калибра задается в нее весьма тонким, или же закрытая часть калибра делается несколько просторнее, чем открытая часть калибра, так как в предыдущем калибре (ребровом IV) обе половины головки получают одинаковую толщину. В предотделочном калибре V в открытой части калибра целесообразно не давать бокового давления, компенсируя недостаток вытяжки утяжкой этой части головки по высоте, так же, как это имеет место в закрытой части калибра. В закрытой части калибра поступающая в нее головка имеет толщину менее толщины калибра и утягивается. Ножка в ребровом пропуске, также не обрабатываясь по толщине, терпит утяжку по высоте, стремясь выравнять свою вытяжку с вытяжкой головки. Поэтому необходимо предусматривать размер утяжки, чтобы выработать нужный запас длины ее в предыдущем калибре, где толщина ножки подвергается обработке.

Точно также в лежащем калибре (V) половинка головки, не обрабатываемая закрытой частью калибра, неизбежно утягивается и, следовательно, в предыдущем ребровом (IV), калибре должна *вырабатываться* так, чтобы получить и жный запас длины на упомянутую утяжку в следующем (V) лежащем калибре. Из этого следует, что положение профиля от одного лежащего калибра к другому лежащему калибру должно изменяться на 180° (см. фиг. 117 от V к III и от III к II).

Первый фасонный калибр имеет ребровое положение и так называемую колокольную форму. Назначение колокольного калибра — превратить квадратное сечение в форму, возможно ближе подходящую к форме таврового профиля. При этом происходит резкая разница в „натуральных“ вытяжках различных частей профиля. Такого рода неравномерность обжатия различных частей профиля пока металл очень горяч и, следовательно, легко текуч, является вполне допустимой и неизбежной при фасонной калибровке, как это было выяснено и раньше. Благодаря этому в последующих (по направлению прокатки) калибрах легче осуществляется равномерность вытяжки различных частей профиля.

Колокольному калибру целесообразно придавать форму, изображенную на фиг. 118.



Фиг. 118.

В такой калибр легко зацается квадрат, как показано пунктиром. Из такого калибра штука поступает в калибр, обрабатывающий выпуклую поверхность головки в плоскую, при чем оба калибра помещаются в валах трио один над другим так, что вырез в среднем валке обслуживает оба калибра. Сказанное выясняется на фиг. 118.

Сопряженное расположение калибров в трио не должно применяться только к чистовому и двум предотделочным калибрам ради точности профиля.

Выше было сказано, что вытяжка во всех частях калибра должна быть одинакова. Однако в ребровых пропусках это не делается по следующим соображениям.

Рассмотрим прокатку в чистовом калибре на примере калибровки, приведенной Тафелем.

В чистовом калибре обе половинки головки, как будет выяснено дальше, поступают одинаковой толщины и длины и обжимаются на одинаковую величину, следовательно, имеют *определенную и одинаковую* вытяжку, равную в данном случае 1,15. Чтобы сообщить такую же вытяжку вертикально расположенной ножке, врезанной в нижний валок, мы не можем применить бокового давления, следовательно, должны были бы это сделать путем обжатия ножки в высоту, т. е. при длине ножки в чистовом калибре 43,5 мм необходимо было бы в предыдущем калибре выработать ножку длиной, по крайней мере, при отсутствии уширения $43,5 \cdot 1,15 = 50$ мм и, следовательно, дать в ножке вертикальное давление $\Delta - \delta = 50 - 43,5 = 6,5$ мм.

Вертикальное давление должно сопровождаться уширением ножки, точную величину которого гарантировать невозможно. По формуле Жеца уширение здесь должно быть около 2,5 мм; следовательно, толщина ножки из предыдущего калибра должна быть $7 - 2,5 = 4,5$ мм, где 7 — толщина ножки в чистовом калибре. Столь тонкая и высокая полоса не может

гарантировать точность вычисленного уширения по всей высоте ее и поэтому здесь недопустимо свободное уширение. Необходимо ограничить уширение, увеличив толщину ножки из предыдущего калибра до толщины ее в готовом профиле, т. е. до 7 мм.

Таким образом, боковые грани калибра будут испытывать при уширении 2,5 мм боковое давление около 2,5 мм, и проволочивание шейки в калибре вызвало бы в ней большие напряжения, истирание стенок и защемление ее в калибре. Поэтому необходимо уменьшать уширение, а следовательно, и вертикальное давление до возможного минимума. Если это давление уменьшить до нуля, то и уширение не будет иметь места, а следовательно, ножка пойдет в калибре совершенно свободно, не касаясь стенок его. Но в таком случае вытяжка ножки в чистовом калибре была бы равна 1. При таких условиях головка, имеющая вытяжку 1,15, будет тянуть за собою ножку, уменьшая ее высоту и толщину. Чтобы компенсировать указаную утяжку, необходимо увеличить длину задаваемой в чистовой калибр ножки так, чтобы коэффициент вытяжки ее был равен $\frac{1+1,15}{2} = 1,075$, если предположить вследствие приблизительного равенства

площадей, что ножка в такой же мере утягивается сама, в какой мере утягивает металл из головки. Ранее мы выяснили, что определить действительную среднюю вытяжку всего профиля точно не представляется возможным, но высказанное здесь предположение о равномерном распределении утяжки основывается на приблизительной равновеликости площадей головки и ножки и поэтому может быть весьма близким к истине.

Таким образом, длина поступающей в чистовой калибр ножки должна быть равна 43,5.1,075—46,75 мм. Тафелем эта длина принята 47 мм, чтобы ослабить защемление ножки в чистовом калибре. Благодаря тому, что металл в ножке калибра VI утягивается, в ней уширение не будет иметь места, хотя калибр и сделан свободнее на 0,75 мм.

Приведенный пример вполне уясняет прием учета утяжки ножки, применяемый Тафелем. Закрытой части калибра дается уклон в 1 мм в предотвращение защемления.

Рассмотрим теперь выработку головки в чистовом профиле. Рассматривая головку как полосу, дадим ей в чистовом калибре вертикальное обжатие $\Delta - \delta = 8,25 - 7 = 1,25$ мм. В виду того, что вытяжка головки тормозится ножкой, в головке будем иметь вынужденное уширение. По данным Тафеля коэффициент уширения при прокатке таврового железа в 1,5—3 раза больше уширения при полосовом железе, определяемого по Жезу.

В данном случае уширение можно принять равным $Z = 0,8.1,25 = 1$ мм, следовательно, ширина головки из предыдущего калибра должна быть равна 50,5—1=49,5 мм, что и принято Тафелем.

Результаты вычисления калибровки чистового профиля, а также и последующих, приведены в таблице 62.

Рассмотрим теперь построение элементов предотделочного (V) калибра. Выше уже были определены размеры ножки этого калибра—47×7 мм. Обе половины головки должны получиться толщиной 8,25 мм. Эта толщина вырабатывается в IV ребровом калибре, в V же калибре необходимо прежде всего обеспечить требуемую для чистового калибра суммарную ширину головки 50,5—1=49,5 мм, уже изданную выше. Рассматривая прокатку головки здесь, как прокатку полосы в ребровом пропуске, примем вертикальное давление здесь 13% (обычно 5—15%) от высоты калибра, т. е. 6,5. Отсюда ширина головки из IV калибра, поступающая в V калибр, должна быть равна 49,5+6,5=56 мм. Следовательно, коэффициент вытяжки будет равен 1,13 в предположении отсутствия уширения. Отсутствие уширения необходимо обеспечить утяжкой металла из головки в ножку, сообщив последней большую вытяжку, а именно—1,19. Вообще, Тафель рекомендует брать разницу

Таблица 62

№ кал.	Правая полов. гол.					Левая полов. гол.					Ножка					Рад. закр.		
	b	d _c	d _k	Q	μ	b	d _c	d _k	Q	μ	h	d _c	d _k	Q	μ	Гол.	Нож.	перех.
VI	2,2	7	7	176,15	1,15	25,25	7	7	176,75	1,15	43,5	8,75	8,75	304,5	1,08	—	—	0,5
		9,5	8,7									7 ¹						
V	21,75		8,25	204,2	1,13	24,7	8,25	8,25	204,2	1,13	47	7	7	329	1,19	—	—	1,5
IV	28	8,25	8,25	231	1,15	28	8,25	8,25	231	1,15	46	10,6	9,75	391	1,12	—	—	2
							11,5	10,5				8,5 ¹						
III	26,6	9	9,75 ²	265	1,24	26,5		10,0 ¹	265	1,13	51,5	8,5	8,5	433	1,245	3,5	—	3
		13	10,5					10,25 ²	0,25 ²									
II	28		11,5	328	1,36	30		1 ¹	300	1,54	49,5	11	11	514,5	1,4	5	5	5
			14,5					14,5	10			10	17					
I	36,5		12,25	447	—	36,5		12,25	447	—	29,5		18,5	811				5

вытяжки от 0,05 до 0,15. В данном случае в предотделочном калибре примем разницу 0,06. Следовательно, вертикальное давление в ножке в V калибре определяется из выражения:

$$\frac{47 \cdot x}{47 \cdot 7} = 1,19 \quad x = 8,33 \sim 8,5 \text{ мм.}$$

Примем на уширение 1 мм, т. е. $k = \frac{1}{85 - 7} = 0,66$, что находится в пределах, данных Тафелем для коэффициента уширения при прокатке таврового железа. Поверяя вытяжку, имеем $\frac{(47 - 1) \cdot 8,5}{47 \cdot 7} = 1,19$.

Во избежание защемления нижней правой половины головки закрытой части калибра делаем его свободным и на конус, давая ширину вверху 9,5 и внизу 8,75 мм; ширину открытой части калибра V для верхней половины головки делаем равной 8,25, т. е. толщине входящей в калибр головки.

Реборлам верхнего и нижнего вала дается уклон (выпуск) 2%. Проверка утяжки:

$$\frac{1 + 2 \cdot 1,19}{3} = 1,13;$$

$$x = 1,13 \cdot 49,5 = 56 \text{ мм.}$$

Здесь масса ножки приблизительно в два раза больше массы половины головки. Размеры IV калибра ясны из предыдущего: головка $56 \times 8,25$, длина ножки 46 мм. Толщина поступающей в калибр ножки равна 8,5 мм, как было найдено выше. В калибре IV эта ширина не изменяется, но калибр делается просторным, чтобы избежать защемления: внизу — 9,75 мм, вверху — 10,6 мм.

Коэффициент вытяжки головки определим выбрав давление 1,5 мм; примем уширение $z = 3$, отсюда коэффициент уширения равен 2. Следова-

¹ Действит. размер металла больше на 0,25 мм вследствие бокового смещения галков.

² Толщина d определяется не по калибру, потому что он не заполняется, а по предыдущему калибру.

тельно, суммарная ширина головки в III калибре равна $56 - 3 = 53$. Коэффициент вытяжки головки в IV калибре равен: $\frac{53 \cdot 10}{56 \cdot 8,25} = 1,15$.

Следовательно, в ножке необходимо иметь $\frac{1 + 1,15}{2} = 1,075$ по крайней мере. Отсюда высота ножки из III калибра должна быть $46 \cdot 1,075 = 49,5$ мм; примем 51,5 мм, чтобы ослабить напряжение. Следовательно $\mu = 1,12$.

Определим размеры III калибра. В этот калибр штука поступает не из ребрового, а из лежащего калибра II. Размеры ножки уже определены: 51,5, 8,5 мм. Общая длина головки также известна — равна 53 мм, что касается толщины обеих частей головки калибра, то здесь она в верхней открытой части равна толщине выходящей из нее головки, т. е. 9,75 мм, но Тафель берет 10 мм из-за игры валков вследствие бокового давления: в нижней же закрытой части во избежание защемления она шире толщины входящей в нее головки 11,5 мм. Последняя имеет трапециодальную форму, выходя из калибра II с размерами 13 и 10,5 мм. Размеры нижней части головки калибра III — также трапеция 10,5 и 11,5 мм.

Штука из калибра II вступает в калибр III после кантования на 180° , поэтому верхняя половина головки толщиной 10 из калибра II (трапеция 10,25 и 9,25) попадает в нижнюю половину головки калибра III, который имеет вышеуказанный размер. Таким образом, толщина обеих половин головки, выходящей из калибра III, одинакова и равна 10 мм. Выпуск в калибре III равен 3%.

Определим утяжку головки в III калибре, т. е. общую длину головки в II калибре, а также обжатие ножки в III калибре. Примем вертикальное давление в ножке $\Delta - \delta = 2,5$ мм и уширение 2 мм, т. е. коэффициент уширения $k = 0,8$.

Следовательно, размеры ножки калибра II равны $49,5 \times 11$ мм и

$$\mu = \frac{49,5 \cdot 11}{51,5 \cdot 9,5} = 1,24.$$

Размеры обеих половин головки калибра II уже должны быть неодинаковы, поэтому определяем отдельно для каждой. Прежде всего левая половина головки (верхняя) из калибра II поступает в правую половину головки калибра III, где она должна получить некоторую утяжку, которую требуется определить для получения ширины этой части калибра III.

Толщина же получающейся из этой части калибра головки уже определена тоже, а именно — 9,75 мм, как средняя линия трапеции с уклоном 1 мм, т. е.

$$\frac{10,25 + 9,25}{2} = 9,75.$$

В действительности вследствие боковой игры толщина здесь получится 10 мм.

Найдем фактический коэффициент вытяжки в закрытой части головки калибра III. Вытяжка ножки равна 1,245.

Следовательно, искомая вытяжка должна быть равна $\frac{1 + 1,245}{2} = 1,13$.

Отсюда площадь сечения выходящей из открытой части калибра II половины головки должна быть равна $265 \times 1,13 = 300$. Отсюда при толщине 10 мм имеем длину этой части головки во II калибре 30 мм.

Закрытая часть калибра II дает металл в открытую часть калибра III, при чем необходимо ограничиться минимальным боковым давлением в одном последнем калибре во избежание получения заусенки и значительного износа калибра. Примем это давление верхней части 1 мм и в нижней

части калибра III — 3,5 мм. Принимая в расчет боковую игру валков во II калибре 0,25 мм, получаем стороны трапеции закрытой части калибра II соответственно $9,75 + 1 - 0,25 = 10,5$ мм и $9,75 + 3,5 - 0,25 = 13$ мм.

Для определения ширины правой половины головки II калибра необходимо знать площадь сечения ее, т. е. коэффициент вытяжки в открытой части калибра III.

Примем последний равным коэффициенту вытяжки ножки, т. е. 1,245, тогда площадь правой части головки из II калибра равна $265 \cdot 1,245 = 328$.

Отсюда при средней линии трапеции $\frac{13 + 10,5}{2} = 11,5$ мм ширины закрытой части калибра II равна $\frac{328}{11,5} = 28,5$ мм.

Возможность образования заусенки в открытой части калибра III предотвращается закруглением радиуса 5 мм в закрытой части калибра II.

Таким образом размеры закрытой части калибра II определены: ширина — 28,5, стороны трапеции — 10,5 и 13 мм. Выпуск 3%.

Элементы калибра I, в котором происходит деформация квадрата в форму, возможно ближе подходящую к форме калибра II, не могут быть определены из правильности вытяжек в калибре II отдельных частей формы калибра I.

Наметим главнейшие очертания калибра I. Исходим: 1) из толщины края головки 10 мм, что определяется толщиной края головки в закрытой части калибра II; 2) из размеров квадрата, сторону которого можно выбрать по Тафелю равной ширине головки готового профиля, т. е. в данном случае 50 × 50 мм; 3) фактический коэффициент вытяжки во II калибре — 1,48.

Ширина головки в I калибре приблизительно равна диагонали квадрата, т. е. $1,414 \times 50 = 72$ мм.

Примем 73 мм. Толщина ее по краям 10 мм. Высота калибра I может быть определена равной половине диагонали плюс половина толщины головки в I калибре, т. е. $36,5 = 41$ мм. Следует несколько увеличить ее для уменьшения $\Delta - \delta$, например, до 44, как делает Тафель.

Правая половина головки представляет собою трапецию с уклоном 12%, что дает толщину в широкой части $10 - 36,5 \cdot 0,12 = 14,5$ мм. Средняя линия трапеции $\frac{10 + 14,5}{2} = 12,25$.

Площадь сечения равна $12,25 \times 36,5 = 447$.

Коэффициент вытяжки $\frac{447}{328} = 1,36$ во II калибре.

Левая половина головки имеет такой же размер. Коэффициент вытяжки во II калибре в открытой части равен $\frac{447}{300} = 1,54$. Средняя вытяжка головки во II калибре $\frac{1,36 + 1,54}{2} = 1,45$.

Принимая общую высоту калибра I равной 44 мм, имеем высоту ножки I калибра $44 - 14,5 = 29,5$ мм.

Площадь ножки равна $1735 - 894 = 841$. Следовательно, средняя линия трапеции ножки равна $\frac{841}{29,5} = 28,5$ мм.

Примем стороны трапеции 40 и 17 мм. Вытяжка ножки во II калибре равна $\frac{841}{544,5} = 1,54$.

Среднее вертикальное давление $\Delta - \delta = 28,5 - 11 = 17,5$.

¹ Тафель принимает 10 вместо 10,5 вследствие предполагаемого незаполнения калибра II в этом месте.

Вынужденное уширение дает $K_c = \frac{20}{17,5} = 1,15$.

Средняя вытяжка во II калибре равна $\frac{1,45+1,54}{2} = 1,48$, как было принято.

Нельзя не видеть, что определение размеров I калибра покоится на шатких основаниях.

Поэтому целесообразно иметь по Брову формовку I профиля посредством двух калибров, как было указано выше.

Закругления необходимо делать в месте перехода ножки в головку. В чистовом профиле это закругление дается самим профилем. В остальных увеличивается приблизительно на 1 мм в каждом калибре. Кроме того, закругления необходимо делать в лежащих калибрах в глубине закрытой части калибра головки, за исключением предотделочного калибра, где закругления этого не следует делать ради выработки острых кромок.

Рассмотрим особенности калибровки таврового железа по Жезу, по Броу и по Дегецу.

Жез определяет утяжку ножки по формуле, о которой будем говорить при рассмотрении калибровок двутавровых балок. Затем Жез придерживается правила равномерности коэффициента вытяжки во всех частях профиля. Ножка и головка калибруются, как полосовое железо.

Жез не излагает систематически калибровки таврового железа в общем виде, ограничиваясь рассмотрением примеров калибровки.

Брову в отличие от Тафеля и Жеза применяет ребровой калибр только в чистовом пропуске.

Дегец так же, как и прочие авторы, начинает с колокольного калибра, в который задается квадрат со стороны, равной длине ножки. Для профилей с высокой ножкой и короткими полками Дегец рекомендует пользоваться стрельчатой заготовкой, задавая ее в колокольный калибр длинной диагональю вертикально. Для лучшего заполнения неравных полок в специальных тавровых профилях Дегец вводит лишний ребровой профиль перед предотделочным калибром.

Здесь так же, как при рассмотрении калибровки углового железа, упомянем о том, что применение метода изучения вертикальных сечений калибра плоскостями, параллельными осям валков, может пролить свет на явления истечения металла при прохождении штуки через сызовое поле в особенности в закрытой и открытой части головки в пластовых калибрах и в закрытой части ребровых калибров.

Особый интерес представляет изучение профилей этих сечений в последних по порядку прокатки калибрах, так как в более ранних вынужденное истечение металла является в порядке вещей и вредные последствия его искупаются высокой температурой металла.

В чистовых и предотделочных калибрах последствия указанного явления более или менее смягчаются малыми абсолютными деформациями, применяемыми в этих калибрах.

Калибровка двутавровых балок

При рассмотрении калибровки таврового железа мы встретились с применением бокового давления при выработке частей головки в открытых и закрытых частях калибров. Однако, размер бокового давления при этом весьма невелик, так как толщина головки преимущественно вырабатывается в ребровых калибрах.

Иначе обстоит дело, когда применение ребровых калибров для выработки толщины фланцев невозможно или неудобно, как, например, при прокатке двутаврового, швеллерного железа и рельс. В этих случаях применение бокового давления необходимо и последнее достигает весьма больших размеров.

Применение бокового давления влечет за собою весьма большое трение металла о боковые стенки калибра, которое тем больше, чем больше давление. Не говоря уже о том, что это обстоятельство весьма резко увеличивает расход энергии и требуемую мощность двигателя, большие боковые давления влекут за собой быстрый износ граней калибра.

Боковое давление определяется давлением истечения и величиною обжатия. Последнее при данной скорости валков определяет собою динамический фактор явления. Известно, что давление истечения является функцией температуры данного металла. Таким образом, в результате боковое давление зависит от температуры и размера бокового обжатия.

Температура меняется не только от калибра к калибру, но и в различных частях профиля одного и того же калибра она различна.

Так как в фасонных профилях флянцы вырабатываются постепенно за много пропусков, то наиболее тонкие части каждого калибра имеют более низкую температуру, чем наиболее толстые части калибра. Так, например (фиг. 119), на линии $a_1 b_1$ флянца двугривной балки температура будет значительно ниже, чем на линии cd_1 поэтому и боковое обжатие на линии $a_1 b_1$ должно быть меньше, чем на линии cd_1 .

В каждом калибре отношение $\frac{dx}{dy}$ во всех

сечениях флянца при этом есть величина определенная, зависящая от положения проекционной точки P профиля, под которой разумеется точка пересечения линий db и $d_1 b_1$ с продолжением грани mn . Обычно для соседних калибров эта точка имеет постоянное положение P относительно линий основания трапеции, т. е. относительно шейки.

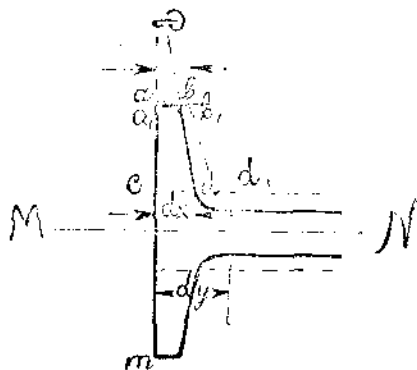
При переходе от калибра к калибру температура штуки падает, поэтому отношение $\frac{dy}{dx}$ при переходе от калибра к калибру в одном и том же расстоянии от нейтральной оси должно возрастать. Кирхберг, лучше других изучивший калибровку балок, рекомендует в закрытой части это возрастание $\frac{dy}{dx}$ пропорционировать с пластичностью металла, которая изменяется от пропуска к пропуску по параболе:

$$\frac{dy}{dz} = 1 + \frac{dx}{200}.$$

Здесь параметр 200 отвечает обычному падению температуры. Не следует, однако, приписывать этому выражению абсолютного значения для всех случаев прокатки, так, например, два случая прокатки одной и той же балки резко различной длины дадут различную деградацию температур от пропуска к пропуску, сообразно с чем должен изменяться каким то образом и параметр 200.

Применение в различных случаях одного и того же параметра в этом выражении должно повлечь за собою большее или меньшее увеличение или уменьшение расхода энергии и износа флянцев, а иногда может отразиться и на напряжениях в профиле, если температура прокатки будет слишком низка.

При нормальных условиях прокатки данное Кирхбергом выражение встретило общее одобрение лиц, изучающих калибровку теоретически и практически.



Фиг. 119.

Кирхберг подтверждает правильность предложенной формулы результатами исследования ряда хорошо действующих калибровок, представленными в таблице 63.

Таблица 63

По опыту		По формуле	По опыту		По формуле
dx мм	dy мм	$dy = dx \left(1 + \frac{dx}{200} \right)$	dx мм	dy мм	$dy = dx \left(1 + \frac{dx}{200} \right)$
8,0	8,25	8,12	17,0	18,5	18,445
8,25	8,5	8,59	20,0	22,0	22,0
9,0	9,25	9,45	20,5	22,5	22,6
9,5	10,0	9,95	27,0	30,0	30,6
11,0	11,5	11,605	28,5	32,25	32,55
12,0	13,0	12,72	30,0	34,0	34,5
12,5	13,25	13,28	34,0	40,0	39,78
13,5	14,5	14,41	44,0	55,0	53,68
15,0	16,5	16,125	56,0	70,0	71,68
16,5	18,0	17,8	70,0	90,0	94,5

Из этой таблицы видно, что формула, проверенная на хорошо действующих калибровках, дает с ними хорошее согласование.

К сожалению, автор не дает более подробной характеристики исследованных калибровок, чтобы можно было оценить отступления.

Высокое давление имеет место в балках только в открытой части калибра, т. е. между ребрами обоих валков. В закрытой части калибра, т. е. ограничиваемой стенками только одного валка, боковое давление сводится к минимальному, как это было уже выяснено ранее.

Кирхберг принимает указанную параболическую зависимость для определения толщины фланцев балки, вводя определение $\lg \alpha_u$, по формуле $\lg \alpha_u = \lg \alpha (1 + \lg \alpha)$, а также непосредственно при построении „переходных“ калибров, о которых будем говорить ниже. Кроме того, он применяет эту зависимость в одном и том же калибре, закругляя внутренние грани фланцев калибра по этой параболе, имея в виду разницу температур толстой и тонкой части фланцев.

Остановимся на вопросе о коэффициентах вытяжки от калибра к калибру.

Как при всякой фасонной калибровке, коэффициент вытяжки должен быть минимальным в чистовом и предотделочном калибрах и затем постепенно возрастать от пропуска к пропуску в направлении против хода прокатки.

Мы уже неоднократно указывали, что вытяжку следует пропорционировать с температурой ради более равномерной нагрузки машины, ради ускорения процесса прокатки и, наконец, ради уменьшения напряжений в профиле, особенно опасных при низкой температуре прокатки, т. е. в последних по порядку прокатки пропусках. Напряжения, возникающие в металле при больших вытяжках и особенно при неравномерном их распределении, менее опасны при высокой температуре, так как возникающие упругие напряжения (наклеп) сейчас же почти полностью исчезают благодаря выравниванию температуры после пропуска.

Кирхберг рекомендует для определения коэффициента вытяжки, начиная от чистового калибра, следующие данные для приращения длины в процентах f .

Для чистовых калибров $f = 10 - 20\%$.

Для черновых калибров $\square$, Γ , $\sqcup$, $\circ$ — и т. п. $f = 20 - 30\%$.

Для черновых калибров $\sqsubset$, $\sqsupset$, ∇ , $\sqcap$ накладок и т. п.

$$f = 30 - 40\%$$

Далее, исходя из того, что металл в том или другом калибре тем пластичнее, т. е. тем горячее, чем больше толщина штуки d , Кирхберг полагает, что коэффициент f должен возрасти пропорционально этой толщине d , т. е.

$$\frac{fy}{fx} = \frac{dv}{dx},$$

но

$$\frac{dv}{dx} \approx \mu_x = 1 + \frac{fx}{100}.$$

Отсюда

$$fy = fx \left(1 + \frac{fx}{100} \right).$$

Кирхберг рекомендует пользоваться этим выражением для определения ряда коэффициентов вытяжки, начиная от чистового калибра. Например, пусть в чистовом калибре $f=20$, тогда имеем следующий ряд f и μ .

Таблица 64

Калибры	1	2	3	4	5
f	10	$10 + \frac{10^2}{100} = 11$	$11 + \frac{11^2}{100} = 12,2$	$12,2 + \frac{12,2^2}{100} = 13,7$	$14 + \frac{14^2}{100} = 16$
μ	1,10	1,11	1,122	1,14	1,16
f	16	$16 + \frac{16^2}{100} = 18,5$	$18,5 + \frac{18,5^2}{100} = 22$	$22 + \frac{22^2}{100} = 27$	$27 + \frac{27^2}{100} = 34$
μ	1,16	1,18	1,22	1,27	1,34
f	20	$20 + \frac{20^2}{100} = 24$	$24 + \frac{24^2}{100} = 30$	$30 + \frac{30^2}{100} = 39$	$39 + \frac{39^2}{100} = 54$
μ	1,20	1,24	1,30	1,39	1,54

Для упрощения этих расчетов Кирхберг дает таблицу, которую здесь не приводим, потому что уже приведенные примеры показывают чрезмерный рост коэффициента вытяжки, каким на практике не пользуются при калибровке балок и, вообще, фасонных профилей.

Гораздо лучше пользоваться следующими формулами, предложенными Кирхбергом же для определения коэффициента f в каждом отдельном калибре. По его наблюдениям f для открытых флянцев зависит от тангенса угла α наклона стороны трапеции последующего (по направлению прокатки) закрытого флянца и равен тангенсу угла α_1 данного открытого флянца, т. е.

$$\frac{f_1}{100} \lg \alpha_1 = \lg \alpha (1 + \lg \alpha) \text{ и } \mu_1 = 1 + \lg \alpha_1.$$

В чистом калибре $\mu = 1 + \lg \alpha$. Однако, и указанная зависимость не является законом, которого следует слепо придерживаться.

Необходимо остановиться на определении утяжки флянцев в закрытой части калибра. Уже ранее мною неоднократно указывалось на трудность определения размера утяжки в подобных случаях. В данном случае Кирхберг утверждает, что по его наблюдениям утяжка в закрытом флянце не зависит от величины профиля и почти всегда равна приблизительно 5 мм, объясняя это тем, что чем больше профиль, тем относительно меньшие давления имеют место. Проф. Грум-Гржимайло утверждает, что во всех

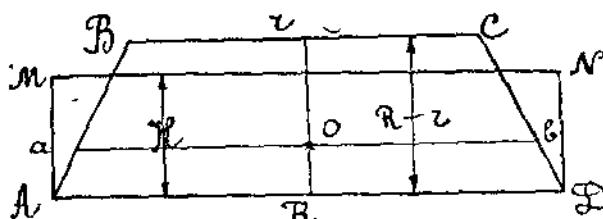
рассмотренных им удачных калибровок утяжка равна 7 мм независимо от размера профиля.

Жез предлагает следующий метод для вычисления величины утяжки фланца в закрытой части калибра двутавровой балки.

Пусть R будет радиус вала в шейке и r — во фланце этой балки в глубине закрытой части калибра. Очевидно, что разница окружностей, а следовательно, и скоростей по кругу вала в шейке и в крае фланца равна:

$$2\pi(R-r)\frac{n}{60}.$$

Следовательно, разница касательных скоростей в шейке (отвечающей скорости прокатки) и в закрытой части калибра, через которую прола-
кнывается фланец, пропорциональна $R-r$. Если представить себе, что ме-
талл во всех точках соприкосновения с поверхностью калибра подчиняется



Фиг. 120.

соответственным скоростям этой поверхности, то трапеция, построенная на двух выше-
отмеченных развернутых ско-
ростях (фиг. 120), как парал-
лельных сторонах ее, и высоте,
равной $R-r$, позволяет су-
дить об относительных (тео-
ретических) скоростях.

В каждой данной точке O по высоте фланца скорость
будет пропорциональна отрезку ab между наклонными AB и CD , прове-
денному параллельно основанию, и масса металла, проходящая в одну
секунду через эту часть калибра, должна быть пропорциональна площади
данной трапеции.

Но так как скорость металла во всех точках фланца по высоте в дей-
ствительности должна быть одна и та же и равна скорости металла в шейке,
то ее графическое изображение должно отвечать форме прямоугольника
 $AMND$, площадь которого должна быть равновелика площади трапеции
 $ABCD$. Нетрудно найти высоту полученного прямоугольника H из равенства:

$$HR = (R-r)\frac{R+r}{2}$$

$$H = \frac{R^2 - r^2}{2R}.$$

Следовательно, утяжка (ω) равна разности высот трапеции у прямо-
угольника

$$\omega = R - r - \frac{R^2 - r^2}{2R} \text{ или } \omega = R - r - \frac{(R+r)(R-r)}{2R} = \frac{(R-r)^2}{2R}.$$

Чтобы компенсировать эту утяжку, необходимо высоту открытого
фланца ($h_n + 1$), из которого металл поступает в данный закрытый фланец,
сделать больше высоты (h_n) данного закрытого фланца на величину утяжки
(ω), т. е.

$$h_{n+1} = h_n + \omega.$$

Определим по этому методу величину утяжки для разных балок.

1. Балка № 40. Ширина полки $R=153$ мм. Толщина ножки $S=14$. Вы-
сота фланца в чистовом калибре:

$$h_1 = \frac{153 - 14}{2} = 69.5.$$

Пусть прокатка ведется в стане 800, т. е. $R_0 = 400$. Очевидно $R = 400 - 7 = 393$ мм, $2R = 786$ мм, $r = 393 - 69,5 = 323,5$ мм, $R + r = 716,5$ мм, $R - r = 69,5$ мм,

$$(R+r)(R-r) = 716,5 \cdot 69,5 = 49\,797$$

$$\omega = 69,5 - \frac{49\,797}{786} = 6,2 \text{ мм.}$$

II. Балка № 25. $B = 110$; $S = 9$; $D = 700$,

$$h = \frac{110 - 9}{2} = 50,5 \text{ мм.}$$

$$R = 350 - 4,5 = 345,5 \quad 2R = 691 \text{ мм}$$

$$r = 345,5 - 50,5 = 295 \quad R + r = 640,5$$

$$R - r = 50,5$$

$$(R+r)(R-r) = 640,5 \cdot 50,5 = 32\,345$$

$$\omega = 50,5 - \frac{32\,345}{691} = 3,7 \text{ мм.}$$

III. Балка № 8. $B = 51$; $S = 4$; $D = 550$; $h = \frac{51 - 4}{2} = 24,5$.

$$R = 275 - 2 = 273 \quad 2R = 546$$

$$r = 273 - 24,5 = 248,5 \quad R + r = 511,5$$

$$R - r = 24,5$$

$$(R+r)(R-r) = 511,5 \cdot 24,5 = 12\,532$$

$$\omega = 24,5 - \frac{12\,532}{546} = 1,55 \text{ мм.}$$

Предложенный Жезом метод следует признать рациональным, поскольку в закрытой части калибра не дается бокового давления, т. е. калибр свободнее задаваемой в эту часть калибра штуки. Но если здесь имеется некоторое боковое давление, то утяжка может сильно возрасти. Точно также метод Жеза не учитывает распределения вытяжек в шейке и открытой части калибра, каковое, давая результирующую скорость всей штуке, может оказать влияние на размер утяжки в ту или другую сторону. Некоторое влияние на размер утяжки должно оказывать также отношение площадей флянцев и шейки, а также температура и одновременность захвата отдельных частей профиля в силовом поле.

Таким образом явление настолько сложно, что вполне надежного определения утяжки сделать нельзя.

Тем не менее метод Жеза надо признать в основе правильным.

Чем же объяснить утверждения Кирхберга и Грум-Гржимайло о наблюдавшихся ими в действующих калибровках постоянствах утяжки, принимаемой при калибровке разнообразных профилей 5—7 мм? Это следует объяснить следующим образом.

Из примеров расчета утяжки для различных профилей мы видим, что она изменяется от 1,5 до 6,5 мм в зависимости от номера профиля и диаметра вальков.

Что произойдет, если во всех случаях взять на утяжку 5 мм?

Легко показать, что если не следует назначать утяжку меньше вычисленной, то брать ее немного больше вычисленной вполне возможно.

Действительно, увеличение предыдущего фланца на величину утяжки преследует цель обеспечить заполнение фланца в данном калибре. Оче-

видно, что увеличение размера предыдущего флянца в большей мере, чем это необходимо для компенсации утяжки, будет сопровождаться наличием в закрытом калибре прямого давления, равного разнице принятого и вычисленного значения утяжки. Например, если во всех рассмотренных случаях принять 5 мм, то прямое давление в первом случае будет $5 - 6,2 = -1,2$ мм. Здесь будет незаполнение калибра на 1,2 мм. Поэтому целесообразно по Грум-Гржимайло здесь взять не 5, а 7 мм. В таком случае прямое давление будет $7 - 6,2 = 0,8$ мм.

Столь ничтожное прямое давление при большой высоте флянца дает неощутимо малое уширение металла в нем и разработка калибра будет ничтожна. Если при этом даже не предусмотрен просторный калибр,

то прокатка будет вполне успешна.

Во втором случае прямое давление будет $5 - 3,7 = 1,3$ мм. При высоте калибра 50 мм свободное уширение здесь не превышает 0,25 мм. Следовательно, если предусмотрен просторный на эту величину калибр, то флянец пройдет без трения, и прокатка пройдет прекрасно. Если же калибр тесен, то произойдет небольшая выработка калибра, сопровождающаяся усиленной несколько утяжкой.

Спустя некоторое время калибр получит естественные размеры.

В третьем случае прямое давление будет $5 - 1,55 = 3,45$ мм. При высоте калибра 24,5 свободное уширение здесь будет около 0,6 мм.

Прокатка проходит прекрасно, если предусмотрена некоторая просторность калибра, в противном случае некоторое время калибр будет прирабатываться.

Из сказанного ясно, что если делать калибр в закрытой части на 0,5 мм просторнее, чем задаваемый в него флянец, то можно без вреда для дела брать всегда 5 или 7 мм на утяжку.

При прокатке флянца в открытой части калибра необходимо, чтобы вытяжка в нем, происходящая от бокового давления, не превышала вытяжки шейки, в таком случае опасность получения злусенки значительно ослабляется и вполне устраняется наличием закругления в предшествующем закрытом флянце. Тем не менее целесообразно предусматривать увеличение в открытом калибре высоты поступающего в него флянца на 0,5 — 1 мм, получающегося при хорошей калибровке по наблюдениям Кирхберга.

На основании сказанного будут понятны следующие формулы, данные Кирхбергом для расчета калибров двутаврового железа.

Обозначим размеры флянцев чистового профиля в горячем состоянии через h , $\text{tg } \alpha$, a , b , Q (фиг. 121). В чистовом профиле все размеры симметричны.

P — конструкционная точка.

Кирхберг разбивает весь профиль на 5 частей, 4 флянца и шейку, как показано на чертеже.

Q — площадь флянца.

Построим предотделочный калибр — открытый и закрытый флянцы.

Предотделочный калибр. Открытый флянец

Обозначим искомые h_1 , $\text{tg } \alpha_1$, a_1 , b_1 , Q_1 и x и m средняя линия трапеции

$$A) x = -\frac{b}{\text{tg } \alpha}$$

$$B) h_1 = h + \omega,$$

так как этот фланец утянется на ω в закрытой части чистового калибра

$$C) Q_1 = Q \cdot \mu_1 = Q (1 + \operatorname{tg} \alpha)$$

$$D) m_1 = \frac{Q_1}{h_1}$$

$$E) \operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{m_1}{x - 0,5 h_1}$$

$$F) a_1 = (x - h_1) \operatorname{tg} \alpha_1$$

$$G) b_1 = x \operatorname{tg} \alpha_1$$

Предотделочный калибр. Закрытый фланец

$$A_1) x = \frac{c}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{b}{\operatorname{tg} \alpha}$$

$$B_1) h_1 = h - (\text{от } 0,5 \text{ до } 1 \text{ мм}),$$

так как этот фланец уширится в открытой части чистового калибра на 0,5—1 мм.

$$C_1) Q_1 = Q \mu = Q (1 - \operatorname{tg} \alpha)$$

то же, что в открытом фланце.

$$D_1) m_1 = \frac{Q_1}{h_1}$$

$$E_1) \operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{m_1}{x - 0,5 h_1}$$

$$F_1) c_1 = x \operatorname{tg} \alpha_1$$

$$G_1) d_1 = (x - h_1) \operatorname{tg} \alpha_1.$$

Предотделочный калибр. Шейка

Даны размеры шейки чистового профиля S , B и Q .

Так как коэффициенты вытяжки шейки и полок должны быть одинаковыми, то $\mu_1 = \frac{Q_1}{Q}$.

$$B_1 = B + z.$$

О величине z скажем ниже.

$$S_1 = \frac{Q_1}{B}.$$

Исходя из размеров предотделочного калибра, вычисляем размеры следующего калибра по следующим формулам:

Открытые флянцы:

Закрытые флянцы:

$$1. x = \frac{b}{\operatorname{tg} \alpha}$$

$$7. h_1 = h - (\text{от } 0,5 \text{ до } 1 \text{ мм})$$

$$2. h_1 = h + \omega$$

$$8. m_1 = \frac{Q_1}{h_1}$$

$$3. \operatorname{tg} \alpha_1 = \operatorname{tg} \alpha (1 + \operatorname{tg} \alpha)$$

$$9. \operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{m_1}{x - 0,5 h_1}$$

$$4. a_1 = (x - h_1) \operatorname{tg} \alpha_1$$

$$10. C_1 = x \operatorname{tg} \alpha_1$$

$$5. b_1 = x \operatorname{tg} \alpha_1$$

$$11. d_1 = (x - h_1) \operatorname{tg} \alpha_1$$

$$6. Q_1 = h_1 \frac{a_1 + b_1}{2}$$

Здесь буквы без значков — размеры закрытого фланца предыдущего калибра.

Здесь буквы без значков — размеры открытого фланца предыдущего калибра

По приведенным формулам построение может быть доведено большей частью только до VII калибра включительно, так как дальнейшее применение их привело бы к чрезмерным коэффициентам вытяжки и обжатиям, требующим слишком больших диаметров валков и мощности двигателей. Поэтому Кирхберг дает ряд формул для построения переходных калибров, задаваясь новым положением конструкционной точки.

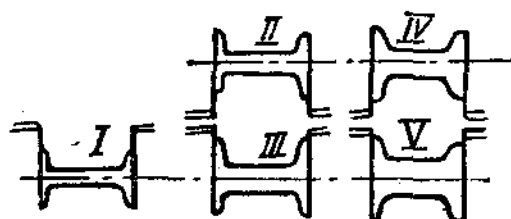
$$12. h_1 = h + \omega$$

$$13. a_1 = a + \frac{a^2}{200}$$

$$14. \operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{a_1}{x - h_1}$$

$$15. b_1 = x \operatorname{tg} \alpha_1.$$

Приведенные формулы относятся к построению калибров в станах дуо реверсивных, в которых катаются балки, начиная с № 26 и выше.



Фиг. 122.

Балки меньших размеров обычно катаются в станах трио. В последних калибры могут располагаться или сопряженно, т. е. друг над другом, или независимо друг от друга, т. е. в шахматном порядке. В последнем случае калибровка тождественна с калибровкой в дуо, т. е. с соблюдением правила одинаковых вытяжек во всех частях калибра. При сопряженном расположении калибров приходится жертвовать равномерностью вытяжки ради более полного использования полотна валков.

При сопряженном расположении калибров в стане трио расположенные в среднем валке друг над другом открытые флянцы попарно имеют одинаковые площади, точно также площадь каждого нижнего закрытого флянца равна площади верхнего закрытого флянца ближайшего большого калибра (фиг. 122).

Вычисление ведется в следующем порядке. Размеры чистового калибра известны.

Предотделочный калибр. Открытые флянцы

Вычисление проводится по формуле $A - G$.

Закрытый фланец

Согласно сказанному выше имеем:

$$c_1 = b \text{ отделочного калибра}$$

$$h_1 = h \quad " \quad "$$

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \operatorname{tg} \alpha \quad " \quad "$$

$$a_1 = (x - h) \operatorname{tg} \alpha.$$

Предотделочный II калибр строится по формулам $A_1 - G_1$.

Построение последующих калибров из предыдущего

Открытый фланец III калибра. Согласно сказанному выше открытый фланец последующего III (против направления прокатки) калибра равен открытому флянцу уже найденного предыдущего II калибра.

Закрытый фланец III калибра. Для построения закрытого флянца III и IV последующего калибра необходимо знать площадь, которая определяется из размеров открытого флянца того же III калибра, уже найденного.

Исходя из размеров этого фланца, считая его закрытым, строим по формулам 1—6 вспомогательный открытый фланец с площадью равновеликой искомой.

Из полученных таким образом размеров вспомогательного фланца находим, наконец, пользуясь формулами 7—11, размеры искомого закрытого фланца, который будет тождественным для III и IV калибров.

Исходя из размеров найденного закрытого фланца, определяем по формулам 1—6 открытый фланец IV и V калибров. В дальнейшем повторяется только что описанный цикл для определения закрытых фланцев V и VI калибра и т.д.

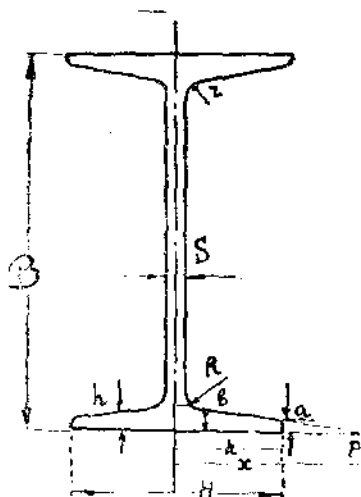
Поясним описанный метод расчета калибров на примере. Нормальный сортамент ОСТ предусматривает следующие номера двутавровых балок: наименьший № 10 и наибольший № 45. За исключением № 45 нечетные номера совсем исключаются, при чем кончая № 32 идут по порядку все четные номера, затем № 36 и № 40.

Промежуточных номеров нет. Всего 15 номеров.

Пример калибровки балок № 10. Стан 550 трио. Калибровка в сопряженных ручьях.

Нормальные размеры (фиг. 123)

$$\begin{aligned} B &= 100 \text{ мм} & a &= 4,5 \text{ мм} \\ H &= 57,0 \text{ " } & b &= 8,1 \text{ " } \\ S &= 4,5 \text{ " } & R &= 4,5 \text{ " } \\ m &= 6,3 \text{ " } & r &= 2,7 \text{ " } \end{aligned}$$



Фиг. 123.

Размеры в горячем состоянии

Фланцы	Шейка
$h = 26,6$	$B = 100,5^1$
$a = 4,6$	$Q_2 = 100,5 \cdot 4,6 = 462 \text{ мм}^2$
$m = 6,4$	
$b = 8,2$	
$\text{tg } \alpha = 0,137$	
$x = \frac{8,2}{0,137} = 60 \text{ мм}$	
$Q = 6,4 \cdot 26,6 = 170 \text{ мм}^2$	

Определение ω

$$\begin{aligned} R &= 225 - 2,3 = 222,7 & R + r &= 418,8 \\ r &= 222,7 - 26,6 = 196,1 & R - r &= 26,6 \\ \omega &= 26,6 - \frac{418,8 \cdot 26,6}{2 \cdot 222,7} = 1,6 \text{ мм, но по Кирхбергу примем } \omega = 5 \text{ мм} \end{aligned}$$

Предотделочный калибр

Открытый фланец	Закрытый фланец
$h_2 = h + \omega = 26,6 + 5 = 31,6$	$h_2 = h = 26,6$
$Q_2 = Q (1 + \text{tg } \alpha) = 170 \cdot 1,137 = 193$	$Q_2 = Q = 170$
$m_2 = \frac{Q_2}{h_2} = \frac{193}{31,6} = 6,1$	$m_2 = m = 6,4$
$\text{tg } \alpha_2 = \frac{m_1}{x - 0,5 h_1} = \frac{6,1}{60 - 15,8} = 0,138 \sim 0,14$	$\text{tg } \alpha_2 = \text{tg } \alpha = 0,14$

¹ По коэффициенту расширения следовало бы 101,5, но, имея в виду допуски — 1 мм и +2 мм и износ калибра, следует брать 101,5 - 1 = 100,5 мм.

Открытый фланец

$$\begin{aligned} a_2 &= (x - h_1) \operatorname{tg} \alpha_2 = (60 - 31,6) 0,14 = 4,0 \\ b_2 &= x \operatorname{tg} \alpha_2 = 60 \cdot 0,14 = 8,4 \\ \mu_1 &= 1,24 \\ R &= 6,1 \\ r &= 3 \end{aligned}$$

Закрытый фланец

$$\begin{aligned} a_2 &= a = 4,6 \\ b_2 &= c = 8,4 \\ \mu_1 &= 1,0 \\ R &= 6,4 \\ r &= 3,2 \end{aligned}$$

Для вычисления размера шейки найдем средний коэффициент вытяжки всего калибра; два фланца имеют $\mu=1$ и другие два — $\mu=1,14$, следовательно, средняя вытяжка всего профиля, а также и шейки равна $\frac{1+1,14}{2} = 1,07$.

Поэтому $Q_1 = 1,07 \cdot Q_0 = 1,07 \cdot 462 = 494 \text{ мм}^2 \sim 500 \text{ мм}^2$.

Как видим из коэффициента вытяжки давление $\Delta - \delta$ в шейке ничтожно, поэтому также и уширение ничтожно, составляя доли миллиметра. Однако его обычно берут гораздо больше, чем определяется по формуле Жеза, потому что увеличение уширения ослабляет боковое давление на реборды и, следовательно, уменьшает истирание. В последних пропусках боковое давление невелико, оно возрастает в направлении обратном прокатке, поэтому в последних пропусках берут малое уширение, увеличивая его в направлении первых пропусков.

Для крупных балок целесообразно брать ряд последовательно от чистового калибра: 2 мм, 3 мм, 4 мм, 5 мм и т. д. или даже 2 мм, 4 мм, 6 мм и т. д. Для мелких балок — ряд: 0,5 мм, 1 мм, 2 мм, 3 мм, 4 мм и т. д.

В данном случае будем придерживаться последнего ряда.

Поэтому $B_2 = B - 0,5 = 100 \text{ мм}$.

Отсюда $S_2 = \frac{494}{100} = 4,94 \text{ мм} \sim 5 \text{ мм}$.

III калибр. Открытый фланец III калибра равен уже найденному открытому II калибру.

Как уже было отмечено, надо, исходя из размеров открытого фланца предотделочного калибра, как будто бы закрытого, построить вспомогательный открытый фланец, пользуясь формулами 1—6.

Вспомогательный открытый фланец

$$\begin{aligned} h_3 &= h_2 + w = 31,6 + 5 = 36,6 \\ \operatorname{tg} \alpha_3 &= \operatorname{tg} \alpha_2 (1 + \operatorname{tg} \alpha_2) = 0,14 \cdot 1,14 = 0,16 \\ a_3 &= (x - h_3) \operatorname{tg} \alpha_3 = (60 - 36,6) \cdot 0,16 = 3,8 \\ b_3 &= x \operatorname{tg} \alpha_3 = 60 \cdot 0,16 = 9,6 \text{ мм} \\ Q'_3 &= h_3 \frac{a_3 b_3}{2} = 36,6 \frac{3,8 + 9,6}{2} = 245. \end{aligned}$$

Закрытый фланец III и IV калибра

$$\begin{aligned} h_3 &= h_2 - 0,6 = 31,6 - 0,6 = 31 \\ m_3 &= \frac{Q_3}{h_3} = \frac{245}{31} = 7,9 \\ \operatorname{tg} \alpha_3 &= \frac{m_3}{x - 0,5 h_3} = \frac{7,9}{60 - 15,5} = 0,18 \\ c_3 &= x \operatorname{tg} \alpha_3 = 60 \cdot 0,18 = 10,8 \\ d_3 &= (x - h_3) \operatorname{tg} \alpha_3 = 5,2 \\ Q_3 &= 245 \end{aligned}$$

Вытяжка открытого фланца III калибра в закрытом II калибре $\mu_2 = \frac{193}{170} = 1,138$.

Вытяжка закрытого фланца III калибра в открытом II калибре $\mu_2 = \frac{245}{193} = 1,27$.

Средняя вытяжка $\mu_2 = \frac{1,138 + 1,27}{2} = 1,21$. $Q_3 = 500 \cdot 1,2 = 605 \text{ мм}^2$; $B_3 = 100 - 1 = 99$; $S_3 = \frac{605}{99} = 6 \text{ мм}$.

IV калибр. Открытый фланец IV калибра определяется из закрытого фланца III калибра по формулам 1—6. Он будет тождествен с открытым фланцем V калибра.

$$h_4 = h_3 + \omega = 31 + 5 = 36$$

$$\operatorname{tg} \alpha_4 = \operatorname{tg} \alpha_3 = (1 + \operatorname{tg} \alpha_3) = 0,18 \cdot 1,18 = 0,22$$

$$a_4 = (x - h_4) \operatorname{tg} \alpha_4 = (60 - 31) \cdot 0,22 = 5,3$$

$$b_4 = x \operatorname{tg} \alpha_4 = 60 \cdot 0,22 = 13,2$$

$$Q_4 = h_4 \frac{a_4 + b_4}{2} = 36 \cdot \frac{5,3 + 13,2}{2} = 333$$

$$\mu_4 = \frac{333}{245} = 1,36.$$

Шейка

$$\mu_3 = \frac{1,36 + 1,27}{2} = 1,32$$

$$Q_3 = 1,32 \cdot 605 = 800$$

$$B = 99 - 2 = 97$$

$$s_4 = \frac{800}{97} = 8,25.$$

V калибр. Открытый фланец V калибра тождествен с открытым фланцем IV калибра.

Для определения элементов закрытого фланца найдем вспомогательный калибр, аналогично тому, как поступали при вычислении закрытого фланца III калибра.

Вспомогательный фланец

$$h_5 = h_4 + \omega = 36 + 5 = 41$$

$$\operatorname{tg} \alpha_5 = \operatorname{tg} \alpha_4 (1 + \operatorname{tg} \alpha_4) = 0,22 \cdot 1,22 = 0,27$$

$$a_5 = (x - h_5) \operatorname{tg} \alpha_5 = (60 - 41) \cdot 0,27 = 5,2$$

$$b_5 = x \operatorname{tg} \alpha_5 = 60 \cdot 0,27 = 16,2$$

$$Q_5 = 41 \cdot \frac{5,2 + 16,2}{2} = 440.$$

Закрытый фланец V и VI калибра

$$h_5 = h_4 - 0,5 = 36 - 0,5 = 35,5$$

$$m_5 = \frac{Q_5}{h_5} = \frac{440}{35,5} = 12,4$$

$$\operatorname{tg} \alpha_5 = \frac{12,4}{60 - 17,75} = 0,30$$

$$c_5 = 60 \cdot 0,30 = 18$$

$$\alpha_5 = (60 - 35,5) \cdot 0,3 = 7,35$$

$$\mu_4 = \frac{440}{333} = 1,32.$$

Вытяжка открытого фланца V калибра в закрытом IV

$$\mu = \frac{333}{245} = 1,36.$$

Средняя вытяжка $\mu = 1,34$.

Шейка $Q_3 = 1,34 \cdot 800 = 1070$; $B = 97 - 3 = 94 \text{ мм}$;

$$s_5 = \frac{1070}{94} = 11,4.$$

VI калибр. Открытый флянец VI и VII калибра

$$\begin{aligned} h_6 &= h_5 + \omega = 35,5 + 5 = 40,5 \\ \operatorname{tg} \alpha_6 &= \operatorname{tg} \alpha_5 (1 + \operatorname{tg} \alpha_5) = 0,3 \cdot 1,3 = 0,39 \\ a_6 &= (60 - 41,5) \cdot 0,39 = 7,22 \\ b_6 &= 60 \cdot 0,39 = 23,4 \\ Q_6 &= 41,5 \cdot \frac{7,22 + 23,4}{2} = 635 \\ \mu_5 &= \frac{635}{440} = 1,45. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{Шейка} \\ \mu &= \frac{1,45 + 1,32}{2} = 1,39 \\ Q &= 1,39 \cdot 1070 = 1490 \\ B_6 &= 94 - 4 = 90 \\ S_6 &= \frac{1490}{90} = 16,6. \end{aligned}$$

Для скорейшего получения разрезающего калибра в последующих калибрах приближаем проекционную точку на 10% , т. е. берем $X = 54$ мм.

VII калибр. Открытый флянец VII калибра уже найден: он равен открытому флянцу VI калибра. Для определения элементов закрытого флянца найдем вспомогательный калибр.

$$\begin{aligned} &\text{Вспомогательный флянец} \\ h_7 &= h_6 + \omega = 41,5 + 5 = 46,5 \\ \operatorname{tg} \alpha_7 &= \operatorname{tg} \alpha_6 (1 + \operatorname{tg} \alpha_6) = 0,39 \cdot 1,39 = 0,54 \\ a_7 &= (54 - 46,5) \cdot 0,54 = 4,1 \\ b_7 &= 54 \cdot 0,54 = 29,2 \\ Q_7 &= 46,5 \cdot \frac{4,1 + 29,2}{2} = 775. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{Закрытый флянец VII и VIII калибров} \\ h_7 &= h_6 - 0,5 = 41 \\ m_7 &= \frac{Q_7}{h_7} = \frac{775}{41} = 18,9 \\ \operatorname{tg} \alpha_7 &= \frac{18,9}{54 - 20,5} = 0,56 \\ c_7 &= 54 \cdot 0,56 = 30 \\ d_7 &= (54 - 41) 0,56 = 7,3 \\ \mu_6 &= \frac{775}{635} = 1,22. \end{aligned}$$

Коэффициент вытяжки открытого флянца VII калибра в закрытом флянце VI калибра $\mu_6 = \frac{635}{440} = 1,45$.

$$\text{Средняя вытяжка } \mu = \frac{1,22 + 1,45}{2} = 1,33.$$

Шейка VII калибра

$$Q_7 = 1,33 \cdot 1490 = 1980; \quad B_7 = 90 - 5 = 85; \quad s_7 = \frac{1980}{85} = 23,3.$$

Найдем размеры открытого флянца VIII калибра, который является разрезающим, так как сумма высот в VII калибре: $41 + 23,3 + 41,5 = 105,8$ приблизительно равна двойной ширине полки готового профиля. По Гольцвейлеру ширина заготовки должна быть равна приблизительно 213.

$$\begin{aligned} h_8 &= h_7 + \omega = 41 + 5 = 46 \\ \operatorname{tg} \alpha_8 &= 0,56 \cdot 1,56 = 0,87 \\ a_8 &= (54 - 46) \cdot 0,87 = 7,0 \\ b_8 &= 54 \cdot 0,87 = 47 \\ Q_8 &= \frac{47 + 7}{2} \cdot 46 = 1240 \\ \mu_7 &= \frac{1240}{775} = 1,6. \end{aligned}$$

Средняя вытяжка $\mu = \frac{1,6+1,22}{2} = 1,41$.

Шейка VIII калибра $Q_8 = 1,41 \cdot 1980 = 2800$; $B_8 = 85 - 5 = 80$; $s_8 = \frac{2800}{80} = 35$.

Суммарная площадь VIII калибра $Q = 2800 + 1240 + 775 = 4815$.

Общая высота $H = 46 + 41 + 35 = 120$

Примем заготовку 78×115 .

В разрезающем калибре $\Delta - \delta = 115 - 35 = 80$ мм. При прокатке в стане трио 550 следует разрезать в два приема (фиг. 124).

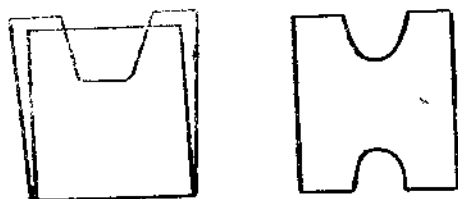
В первом пропуске $\Delta - \delta = 40$ мм и во втором пропуске $\Delta - \delta = 40$ мм.

Сведем полученные результаты в таблицу 65, дополненную радиусами закруглений: r — в вершине закрытого и открытого фланца с внутренней стороны и r_1 — с наружной стороны закрытого фланца; k — между открытым фланцем и шейкой; R_1 — радиус закругления между шейкой и закрытым фланцем.

По Кирхбергу $R - R_1 = m$ — средняя линия трапеции соответствующего фланца

$$r = 0,5 \text{ мм}$$

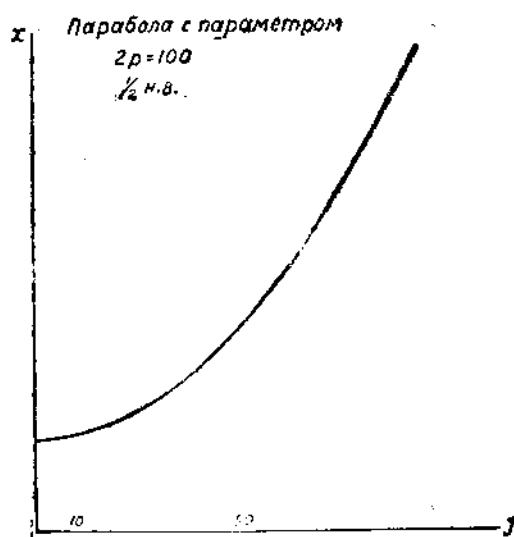
$$r_1 = 0,25$$



Фиг. 124.

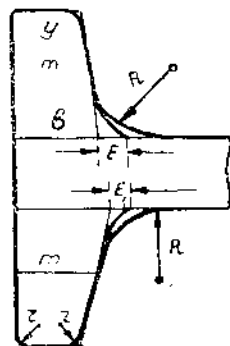
В чистовом калибре закругления задаются по сортаменту.

Кирхберг кроме того рекомендует переход от фланца к шейке делать по параболе параметром $2p = 100$ (фиг. 125).



Фиг. 125.

Прикладываем параболу таким образом, чтобы основание трапеции получило уширение $E = \frac{b^2}{200}$ или $E_1 = \frac{c^2}{200}$ (фиг. 126).



Фиг. 126.

Для нахождения величины E и E_1 Кирхберг дает таблицу 66.

Отложив отрезок E на продолжении основания трапеции, прикладывают к концу этого отрезка параболу ее вершиной и доводят кривую до соприкосновения с внутренней частью открытого фланца. В закрытом фланце поступают таким же образом, взяв E_1 , но прикладывают параболу к концу отрезка точкой, расположенной несколько далее от вершины, чтобы получить более широкую часть ручья для облегчения поступления в нее задаваемого фланца.

Калибровка балки № 10 в стане трио

№№ калибров	Открытые фляцы					Закрытые фляцы					Шейка					Загрузки	
	a	b	h	tg α	Q	μ	d	c	h	tg α	Q	μ	Q	B	S	R	R ₁
I	4,6	8,2	26,6	0,137	170	1,14	4,6	8,2	26,6	0,137	170	1,0	482	100,5	4,6	4,6	4,6
II	4	8,4	31,6	0,14	193	1,27	4,6	8,4	26,6	0,14	170	1,138	500	100	5	6,1	6,4
III	4	8,4	31,6	0,14	193	1,27	5,2	10,8	31	0,18	245	1,36	605	99	6	6,1	7,9
IV	5,3	13,2	36	0,22	333	1,32	5,2	10,8	31	0,18	245	1,36	800	97	8,25	9,3	7,9
V	5,3	13,2	36	0,22	333	1,32	7,35	18	35,5	0,30	440	1,45	1070	94	11,4	9,3	12,4
VI	7,22	23,4	41,5	0,39	635	1,22	7,35	18	35,5	0,30	440	1,45	1490	90	16,6	15,3	12,4
VII	7,22	23,4	41,5	0,39	635	1,22	7,3	30	41	0,56	775	1,6	1880	85	23,3	15,3	18,9
VIII	7,0	27	46	0,37	1240	—	7,3	30	41	0,56	775	—	2800	80	35	27	18,9

Загот. $b \times h = 7500 (75 \times 100)$; $Q_0 = 7500$; $\mu = 1,56$; $A - B = 36 + 29 = 65$.

Применение параболы с параметром
 $2p=100$ (фиг. 78)

Таблица 66

b или c	$E = \frac{b^2}{200}$ или $E_1 = \frac{c^2}{200}$	$b+E$ или $c+E$	b или c	$E = \frac{b^2}{200}$ или $E_1 = \frac{c^2}{200}$	$b+E$ или $c+E$
0	0,000	0,000	59	17,405	76,405
1	0,005	1,005	60	18,000	78,000
2	0,020	2,020	61	18,605	79,605
3	0,045	3,045	62	19,220	81,220
4	0,080	4,080	63	19,845	82,845
5	0,125	5,125	64	20,480	84,480
6	0,180	6,180	65	21,125	86,125
7	0,245	7,245	66	21,780	87,780
8	0,320	8,320	67	22,445	89,445
9	0,445	9,445	68	23,120	91,120
10	0,500	10,500	69	23,805	92,805
11	0,645	11,605	70	24,500	94,500
12	0,720	12,720	71	25,205	96,205
13	0,845	13,845	72	25,920	97,920
14	0,980	14,980	73	26,645	99,645
15	1,125	16,125	74	27,380	101,380
16	1,280	17,280	75	28,125	103,125
17	1,445	18,445	76	28,880	104,880
18	1,620	19,620	77	29,645	106,645
19	1,805	20,805	78	30,420	108,420
20	2,000	22,000	79	31,205	110,205
21	2,205	23,205	80	32,000	112,000
22	2,420	24,420	81	32,805	113,805
23	2,645	25,645	82	33,620	115,620
24	2,880	26,880	83	34,445	117,445
25	3,125	28,125	84	35,280	119,280
26	3,380	29,380	85	36,125	121,125
27	3,645	30,645	86	36,980	122,980
28	3,920	31,920	87	37,845	124,845
29	4,205	33,205	88	38,720	126,720
30	4,500	34,500	89	39,605	128,605
31	4,805	35,805	90	40,500	130,500
32	5,120	37,120	91	41,505	132,405
33	5,445	39,445	92	42,520	134,320
34	5,780	39,780	93	43,245	136,245
35	6,125	41,125	94	44,180	138,180
36	6,480	42,480	95	45,125	140,125
37	6,845	43,845	96	46,080	142,080
38	7,220	45,220	97	47,045	144,045
39	7,605	46,605	98	48,020	146,020
40	8,000	48,000	99	49,005	148,005
41	8,405	49,405	100	50,000	150,000
42	8,820	50,820	101	51,005	152,005
43	9,245	52,245	102	52,020	154,020
44	9,680	53,680	103	53,045	156,045
45	10,125	55,125	104	54,080	158,080
46	10,580	56,580	105	55,125	160,125
47	11,045	58,045	106	56,180	162,180
48	11,520	59,520	107	57,245	164,245
49	12,005	61,005	108	58,320	166,320
50	12,500	62,500	109	59,405	168,405
51	13,005	64,005	110	60,500	170,500
52	13,520	65,520	111	61,605	172,605
53	14,045	67,045	112	62,720	174,720
54	14,580	68,580	113	63,845	176,845
55	15,125	70,125	114	64,980	178,980
56	15,680	71,680	115	66,125	181,125
57	16,245	73,245	116	67,280	183,280
58	16,820	74,820	117	68,445	185,445

¹ E или E_1 . . . ушрения

b или c	$E = \frac{b^2}{200}$ или $E_1 = \frac{c^2}{200}$	$c + E$	b или c	$E = \frac{b^2}{200}$ или $E_1 = \frac{c^2}{200}$	$b + E$ или $c + E$
118	69,620	167,620	160	128,000	288,000
119	70,805	189,805	161	129,605	290,605
120	72,000	192,000	162	131,220	293,220
121	73,205	192,205	163	132,995	295,995
122	74,420	196,420	164	134,480	298,480
123	75,645	198,645	165	136,125	301,125
124	76,880	200,880	166	137,780	303,780
125	78,125	208,125	167	139,495	306,495
126	79,380	205,380	168	141,120	309,120
127	80,645	207,645	169	142,805	311,805
128	82,920	209,920	170	144,500	314,500
129	83,205	212,205	171	146,205	317,205
130	84,500	214,500	172	147,920	319,920
131	85,805	216,805	173	149,645	322,645
132	87,120	219,120	174	151,380	325,380
133	88,445	221,445	175	153,125	328,125
134	89,780	223,780	176	154,880	330,880
135	91,125	226,125	177	156,645	333,645
136	92,480	228,480	178	158,420	336,420
137	93,845	230,845	179	160,205	339,205
138	95,220	233,220	180	162,000	342,000
139	96,605	235,605	181	163,808	344,808
140	98,000	238,000	182	165,620	347,620
141	99,405	240,405	183	167,445	350,445
142	100,820	242,820	184	169,280	353,280
143	102,245	245,245	185	171,125	356,125
144	103,680	247,680	186	172,980	358,980
145	105,125	250,125	187	174,845	361,845
146	106,520	252,520	188	176,720	364,720
147	108,045	255,045	189	178,605	367,605
148	109,520	257,520	190	180,500	370,500
149	111,005	260,005	191	182,405	373,405
150	112,500	262,500	192	184,320	376,320
151	114,050	265,050	193	186,245	379,245
152	115,520	267,520	194	188,180	382,180
153	117,045	270,045	195	190,125	385,125
154	118,580	272,580	196	192,080	388,080
155	120,125	275,125	197	194,045	391,045
156	121,680	277,680	198	196,020	394,020
157	123,245	280,245	199	198,005	397,005
158	124,820	282,820	200	200,000	400,000
159	126,405	285,405			

Смысл применения параболы здесь заключается, как было указано выше, в разнице температур у основания и у концов флякцев.

Впрочем, другие авторы не прибегают к применению параболы при построении закруглений, ограничиваясь только радиусами, указанными выше.

Благодаря применению парабол и закруглений в разрезающем калибре закругления левой и правой стороны пересекаются, вследствие чего врезы получают менее глубокими и возможно обойтись одним разрезающим калибром вместо двух.

Абрис калибра VIII представлен на фиг. 127.

Торкар дает калибровку той же балки вместо 8 в 7 и в 5 пропусков, представленные в таблицах 67 и 68.

Рассмотрим особенности калибровки Торкара ¹.

¹ Archiv für Eisenhütt. 1928 № 3. „Домез“ 1923 № 3-4.

Таблица 67.

Кал.	α°	μ	F	Q	S	B	R	Открытый				Закрытый				Шейка
								a	b	h	$\operatorname{tg} \alpha$	d	c	h	$\operatorname{tg} \alpha$	
I	(15)	(1,177)	1087	158,7	452	10,5	4,5	5,3	8,5	23	0,14	5,3	8,5	23	0,14	4,5
II	26	1,352	1280	187	532	9,9	5,4	6,2	10,1	23	0,17125	4,6	8,75	28	0,1484	5,37
III	26	1,352	1380	252,5	720	9,7	7,4	6,2	11,8	28	0,2004	6,6	12,1	27	0,2056	7,42
IV	37,7	1,606	2330	341	921	9,5	10,25	8,9	16,4	27	0,2777	6,7	14,6	32	0,2478	10,25
V	43,2	1,762	3750	—	—	9,2	—	Разрезая				—	—	—	—	18,0
Заг.	132,9	5,165	6600	—	—	8,8	75	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Торкар отмечает, что часто калибровка, сделанная по методу Кирхберга, не отвечает по числу пропусков, размеру исходной заготовки, тем размерам валков, которые в данном заводе применяются, в особенности при прокатке в малых номерах, т. е. в станах трио. При прокатке крупных профилей бланнг позволяет дать заготовку любого размера и поэтому указанное несоответствие в этих случаях легко устраняется.

При прокатке же малых номеров заготовка часто может быть только определенного сечения для ряда номеров, что обуславливается калибровкой валков обжимной клетки.

Для такого случая, т. е. когда для данного профиля приходится исходить из вполне определенного размера заготовки и вести процесс в определенное число пропусков, наиболее подходящее в данных условиях производства, Торкар предложил метод калибровки, несколько корректирующий метод Кирхберга.

Если задаться исходным сечением F_n и конечным сечением F_1 и в то же время определенным числом пропусков, то можно найти по известной формуле средний коэффициент вытяжки.

Торкар вместо коэффициента вытяжки оперирует с коэффициентом уменьшения сечения f , подразумевая под таковым отношение $\frac{F_m}{F_{m-1}}$, очевидно $f = \frac{1}{\mu}$.

Для того, чтобы не отступать от принятого в этой книге способа расчета по коэффициенту вытяжки, изложение метода Торкара сведем к принятому нами способу.

$$\text{Очевидно } \mu = \frac{F_{m-1}}{F_m}$$

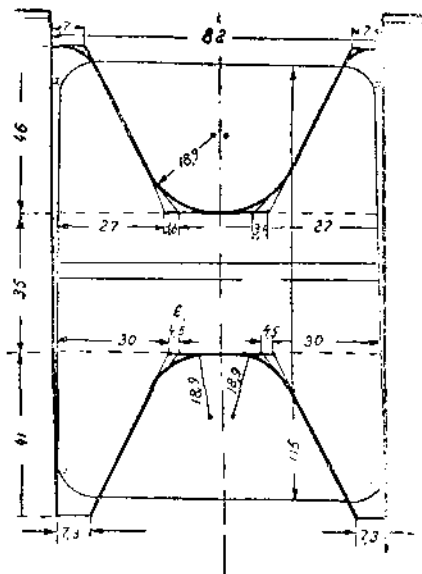
Коэффициент вытяжки в чистовом калибре должен быть мал и не зависит от числа пропусков, поэтому для определения среднего коэффициента вытяжки будем исходить из сечений F_2 и F_n и число пропусков за исключением чистового будет $n-1$.

Отсюда средний коэффициент вытяжки

$$\mu_m = \sqrt[n-1]{\frac{F_n}{F_2}}$$

Предположим, что определенный таким образом средний коэффициент вытяжки $\mu_m = 1,333$. Разумеется, работать с постоянным коэффициентом вытяжки нельзя, так как в последних пропусках возникают значительные напряжения. Поэтому надо выбрать способ распределения постепенно

Разрезающий калибр



Фиг. 127.

возрастающих вытяжек между пропусками так, чтобы произведение всех вытяжек было равно μ^{n-1} .

Торкар это делает следующим образом:

$\mu = 1,333$ отвечает $f = \frac{1}{1,333} = 0,75$, а уменьшение сечения равно $1 - 0,75 = 0,25$, или в процентах $= 25\%$.

За $n-1$ пропусков, например, за $7-1=6$ пропусков, имеем $6 \cdot 25 = 150$.

Эту сумму Торкар на глаз распределяет по пропускам следующим образом:

От	II к III	калибру	(%)	$f=0,78$	$\mu=1,28$
•	III	IV	— 22	• 0,77	1,30
•	IV	V	— 21	• 0,76	1,317
•	V	VI	— 25,5	• 0,745	1,34
•	VI	VII	— 27	• 0,73	1,37
•	VII	к заготовке	— 28,5	• 0,715	1,40
Сумма 150,0					5,62=1,333*

Выбор коэффициента μ для VII разрезающего определяется диаметром валков, углом захвата, мощностью двигателя и числом оборотов валков.

Найденные коэффициенты по закону равенства коэффициентов вытяжки отдельных частей профиля дают возможность определить сечения фланцев и сечения шеек в каждом калибре, именно:

$$Q_3 = \mu_2 Q_2; \quad Q_4 = \mu_3 Q_3 \text{ и т. д.} \quad S_3 = \mu_2 S_2 \text{ и т. д.}$$

Размеры фланцев определяются по формулам (для несвязанных калибров):

$$m = \frac{Q}{h}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{m}{x - \frac{h}{2}}$$

$$b = x \operatorname{tg} \alpha$$

$$a = (x - h) \operatorname{tg} \alpha.$$

где x — положение конструкционной точки и все прочие обозначения уже принятые ранее.

Для связанных калибров в стане трио следует кроме того иметь в виду тождество соседних калибров, как было указано ранее.

Итак, в основе калибровки Торкара лежит подбор коэффициентов вытяжек на глаз, однако Торкар рекомендует полученные результаты проверить по правилу Кирхберга

$$dy = dx + \frac{dx^2}{200}$$

и рекомендует, чтобы отступление от этой формулы не превосходило 5% в сторону увеличения. В случае отклонения более, чем на 5%, следует произвести новое распределение μ или же изменить число пропусков.

На основании этих соображений Торкар приводит пример калибровки балки № 10 на стане 650 в 5 пропусков и на стане 500 в 7 пропусков.

1. Прокатка в 5 пропусков.

Обжимной стан выпускает заготовку 88×75 мм.

Двигатель мощности 2000 P.S. $n=70-80$ и маховиком 65 т.

Столь мощный стан допускает прокатку в 5 пропусков.

При этом прокатку можно вести в стане трио только в несвязанных ручьях.

Сечение готового профиля по германскому сортаменту $F_1 = 1087$ мм² (у нас 1142 мм²). Коэффициент вытяжки $\mu_1 = 1,177$; $f = 85\%$; $F_2 = 1087 \cdot 1,177 = 1280$ мм².

Сечение фланцев $Q_1=158,7$ и $Q_2=158,7 \cdot 1,177=187$.
 Сечение шейки $S_1=452$ и $S_2=452 \cdot 1,177=532$ мм.
 Сечение заготовки $F_*=88,75=6600$ мм²; $n=1=4$.
 Средний коэффициент вытяжки

$$\mu_m = \sqrt[4]{\frac{6600}{1280}} = 1,51$$

$$f=0,6636 \text{ и } a_m=3,64\%$$

Вычисление площадей и закруглений приведем в таблице на основе распределения коэффициента вытяжки при условии, чтобы их произведение было равно μ_m ; $\Sigma a=4,33,64=134,5\%$.

Произведение μ , а именно $1,352 \cdot 1,352 \cdot 1,606 \cdot 1,762 \cdot 5,165=1,514$.

Вычисление элементов калибров произведено по приведенным выше формулам.

Построение V разрезающего калибра представлено на фиг. 127.

2. Прокатка в 7 пропусков

Стан 500. Мощность двигателя 1500 PS, маховик 40 т.

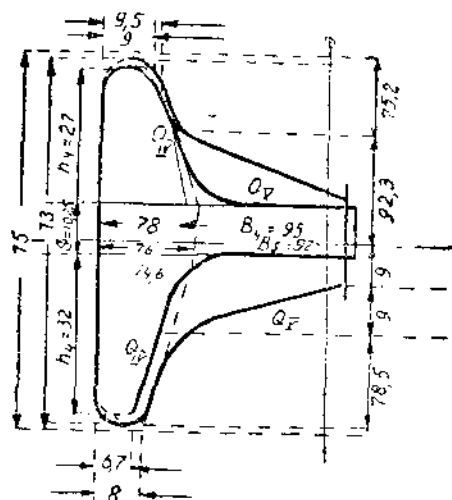
Число оборотов 120 в минуту. Заготовка из обжима 90×82 мм.

$$F_2=1280;$$

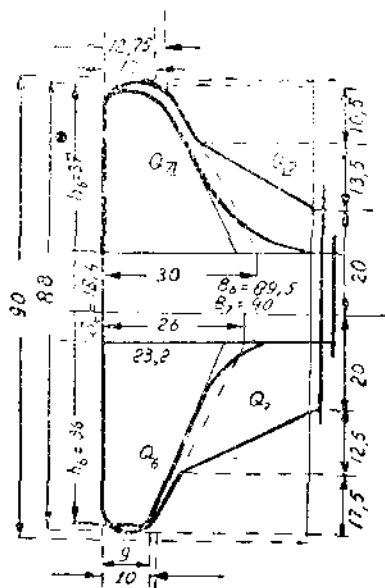
$$F_n=90 \times 82=7380;$$

$$\mu_m = \sqrt[6]{\frac{7380}{1280}} = 1,34;$$

$$f_m=0,7468; a^0_0=25,3; 6 \cdot 25,3=157,6.$$



Фиг. 128.



Фиг. 129.

Результаты сведены в таблице 68.

Таблица 68

Данные калибровки балки № 10 в 7 пропусков

№№ калибр.	Уменьш. сечения %	Коэф. обжатия k	Полная площадь сечения F мм ²	Площадь фланца $Q_{фл}$	Площадь шейки $Q_{ш}$	Ширина калибр. B мм	Радиус закруг. r
I	15	0,85	1087	158,7	452	100,5	4,5
	23	0,77	1280	187	532	99	5,4
	24,5	0,775	1663	213	691	97	7,0
IV	25	0,75	2204	322	916	95	9,6
V	26	0,74	2938	429,5	1230	92,5	12,5
VI	30	0,70	3970	580,5	1648	89,5	18,4
VII	23,1	0,769	5670	—	—	86	—
Загот.	—	—	7380	—	—	82	—

Здесь также калибры несвязанные. Расчет аналогичен предыдущему. Угол захвата в разрезающем калибре $27,5^\circ$ и после сточки валков до размера 475 мм — $28,75^\circ$.

Рекомендуется на разрезающем гребне делать насечку.

Построение разрезающего VII калибра представлено на фиг. 128.

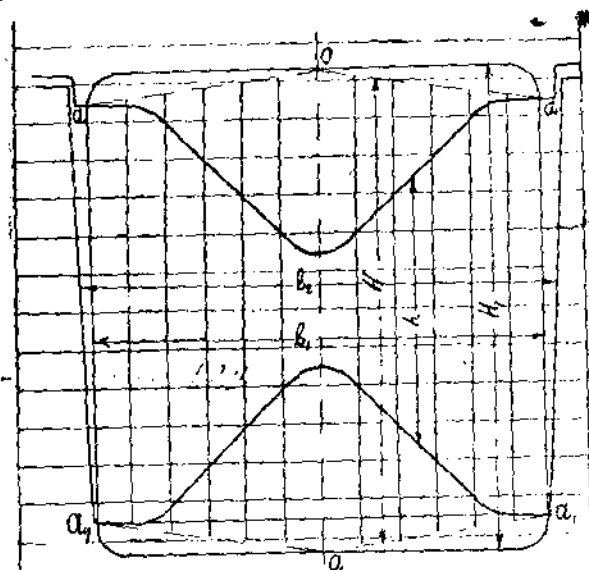
Приведенные примеры расчета калибровок двутавровых балок вполне уясняют применяемые для этого приемы.

Калибровка балок в станах дуо, т. е. крупных номеров выше № 24 производится подобным же образом, но не применяя в вспомогательных калибров, по формулам Кирхберга №№ А—G—9 и А₁—G₁—9 для предотделочных калибров, и №№ 1—15 для остальных калибров.

В виду того, что ход расчета по формулам Кирхберга был достаточно подробно рассмотрен на примере калибровки балки № 10, примера калибровки балки в стане дуо не приводим.

Определение высоты заготовки для разрезающего калибра по методу Тафеля

Известно, что при неравномерном вертикальном обжатии профиля фактическая вытяжка штуки равна среднему арифметическому из вытяжек отдельных частей профиля (фиг. 130).



Фиг. 130.

Отсюда, если обозначить через Q_1 известное сечение исходной заготовки, через Q_2 — известное сечение разрезающего калибра и через μ_{cr} — неизвестный средний коэффициент вытяжки в последнем, то можно написать:

$$Q_1 = \mu_{cr} \cdot Q_2 \quad (1)$$

Пренебрегая уширением в разрезающем калибре, можем написать

$$Q_1 = b_2 H_1 \text{ и } Q_2 = b_2 h_{cr}$$

или

$$H_1 = \mu_{cr} \cdot h_{cr} \text{ и } h_{cr} = \frac{H_1}{\mu_{cr}}.$$

В этом уравнении два известных μ_{cr} и H_1 . Средняя высота разрезающего калибра $h_{cr} = \frac{Q_2}{b_2}$, легко определяется из размеров калибра. Следовательно, должно быть осуществлено равенство

$$\frac{H_1}{\mu_{cr}} = \frac{Q_2}{b_2} \quad (2)$$

посредством подбора H_1 и μ_{cr} .

Решаем задачу путем пробных подстановок. Целесообразно задаться для первой подстановки квадратной заготовкой, т. е.

$$H_1 = b_2 - z_2 = b_1.$$

Величиной уширения задаемся произвольно. Не следует брать большого уширения, достаточно ограничиться уклоном граней калибра, необходимым для выпуска.

Таким образом имеем условный размер заготовки $H_1 b_1$. После этого делим условное сечение заготовки вертикальными секущими на n равных частей. Вместе с этим эти линии разделяют на части и профиль разрезающего калибра (фиг. 130).

Так как при захвате заготовки гребнями ранее, чем крайними частями калибра, происходит истечение центральных полос заготовки назад, то происходит утяжка металла, возрастающая от средней вертикальной линии OO_1 к краям aa_1 . Поэтому за фактическую высоту поступающих в калибр вертикальных полос следует считать вертикальные расстояния между линиями Oa и $O_1 a_1$, которые будем обозначать через H . Высоты соответствующих полос разрезающего профиля будем называть через h .

Так как высоты H одинаковы во всех полосах, а h — переменная, то естественные вытяжки $\mu = \frac{H}{h}$ так же переменные. Для каждой полосы μ легко определяется по масштабу. Суммируя μ и деля сумму на n , находим средний коэффициент вытяжки

$$[\mu_{\text{ср}}] = \frac{\sum \mu}{n}.$$

Итак, известны в первой пробной подстановке H_1 и $\mu_{\text{ср}}$, находим

$$\frac{H_1}{\mu_{\text{ср}}} \quad \text{и проверяем равенство (2)}$$

$$\frac{H_1}{\mu_{\text{ср}}} = \frac{Q_2}{b_2} = h_{\text{ср}}.$$

Если оказалось, что (1-ый случай) $\frac{H_1}{\mu_{\text{ср}}} > \frac{Q_2}{b_2}$, то избранная высота H_1 чрезмерно велика и будут получаться заусенки при a .

$$\text{Если} \quad \frac{H_1}{\mu_{\text{ср}}} < \frac{Q_2}{b_2} \quad (2\text{-ой случай}),$$

то изображенная высота чрезмерно мала и калибр не будет заполняться при a .

$$\text{Если} \quad \frac{H_1}{\mu_{\text{ср}}} = \frac{Q_2}{b_2} \quad (3\text{-ий случай}),$$

то избранная высота заготовки обеспечивает хорошее заполнение калибра.

В 1-ом и 3-ем случае необходимо сделать вторую пробную подстановку, взяв соответственно H_1 , меньше или больше предыдущего пробного значения ее.

Обычно двух неудовлетворяющих пробных подстановок достаточно, чтобы путем интерполяции найти третью H_1 , удовлетворяющую равенству (2).

Сделанные Тафелем опыты подтвердили пригодность этого метода. Опыты производились на опытном стане Высшего Технического училища в Бреславле.

Калибровка швеллеров или образного (корытного) железа

Этот профиль, как и двутавровая балка, состоит из ножки и двух флянцев, расположенных однако только с одной стороны ножки.

По сортаменту ОСТ корытное железо предусмотрено следующих номеров: 5; 6,5; от 8 до 26 только четные и 30.

Сравнивая швеллер с балкой с точки зрения удобства для калибровки, отметим, что флянцы швеллера гораздо шире, чем флянцы балки того же номера, т. е. глубже врезаются в вальки. Кроме того, угол уклона их

только 8%, вместо 14% для балок. Вследствие этих обстоятельств флянцы корытного железа склонны к защемлению при прокатке и поэтому требуют применения меньших вытяжек в последних пропусках и заставляют вследствие верхнего давления избегать пропусков с обращенными вниз полками.

Наконец, затруднение при прокатке представляют углы *A* и *B* (фиг. 131), склонные к сильному охлаждению во время прокатки, если не принять специальных мер к устранению этого охлаждения.

Ножка швеллера несколько толще, чем у соответствующего номера балки, что благоприятно для прокатки, но зато и вес погонного метра швеллера почти равен весу балки, что в связи с увеличением числа пропусков обуславливает меньшую по числу штук производительность стана при прокатке швеллеров по сравнению с таковой для балок того же номера.

Указанные трудности прокатки швеллера вызвали несколько методов калибровки его, из которых два главных: 1) как двутавровая балка с парой ложных флянцев, 2) из полосы с постепенным загибом флянцев.

Первый метод является наиболее распространенным.

В первом пропуске имеем разрезающие ручки, дающие черновой двутавровый профиль с более короткими нижними флянцами. Это позволяет во-первых, иметь сравнительно короткие верхние флянцы, так как, выдавливая нижний (ложный) фланец вверх, можно быстро в нужный момент увеличить высоту верхних (настоящих) флянцев, во-вторых, наличие нижних ложных флянцев предохраняет от охлаждения углы *A* и *B*, о чем было сказано выше. Постепенно в следующих

пропусках ложные флянцы уменьшаются по высоте и толщине так, что в предотделочном калибре они уже совершенно отсутствуют.

Чтобы ускорить переход от чистового профиля к заготовке, целесообразно конструкционную точку настоящих флянцев сохранить постоянной только для чистового и предотделочного калибров, в остальных же калибрах постепенно ее приближать к флянцам. Что же касается уклона ложных флянцев, то приближение конструкционной точки здесь следует вести более энергично, чтобы не иметь в разрезающем калибре слишком высоких флянцев. Кроме того, вообще конструкционные точки, для ложных флянцев должны лежать гораздо ближе к ним, чем для настоящих флянцев, при этом, если положение конструкционной точки в чистовом калибре определяется $\operatorname{tg} \alpha = 0,08$, то положение конструкционной точки ложного фланца в последнем пропуске перед уничтожением его определяется $\operatorname{tg} \beta \approx 0,7$.

Что касается высоты ложных флянцев, то Кирхберг дает следующую формулу (фиг. 132):

$$W_1 = W - \frac{Q_1}{Q} + 2(S_1 - S) \quad (1)$$

$S_1 - S$. . . толшины шейки.

Здесь высота полки отсчитывается всегда от основания верхнего фланца меньшего калибра Q и $\frac{Q_1}{Q}$ есть отношение площадей истинных флянцев в соседних калибрах.

Возможно разрезающий калибр и первые за ним калибры иметь общими для двутавровых балок и швеллеров одного и того же номера если

это отвечает интересам производства, так как в первых пропусках имеет значение для профиля только ширина калибра, которая должна более или менее отвечать высоте ножки профиля, но в этом отношении допустимы и довольно широкие отклонения в сторону меньшей ширины калибра в черновых пропусках, так как нужной высоты ножки можно добиться соответствующим уширением в последующих калибрах.

Гольцвейлер¹ говорит, что если хотят прокатывать несколько профилей различной высоты в одних и тех же черновых валках, то это достигается лучше всего сужением калибров черновых валков, т. е. применяя черновые калибры наименьшего профиля для всей серии профилей путем уширения от калибра к калибру. Уширение при этом может быть настолько велико, что в одних и тех же черновых валках можно получить профили с разницей от 20 до 30 мм по высоте, т. е. по сортаменту ОСТ из одних и тех же черновых калибров можно получить 2—3 номера швеллеров и 2—3 номера двутавровых балок.

Пользуясь сделанными указаниями, не трудно провести расчет калибровки швеллера, как двутавровой балки по формулам Кирхберга.

Коэффициент вытяжки в чистовом профиле можно брать 1,08 согласно формулы Кирхберга $\mu = 1 + \lg \alpha$.

Первый ложный фланец определяется построением исходя из $\lg \beta = 0,7$ и высоты $W_3 = S_3 \frac{Q_3}{Q_2}$, где значки указывают порядковый номер калибра, начиная от чистового.

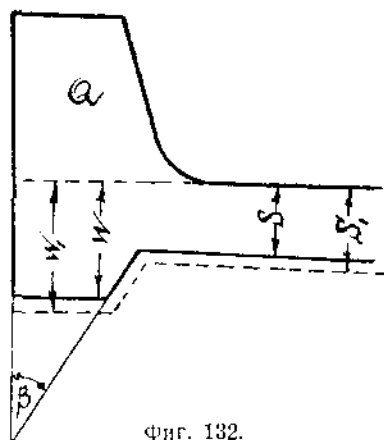
Жез сообщает ложным фланцам толщину у основания и уклон одинаковые с таковыми настоящих полок, но высоту их определяет, как приближительную сумму утяжек настоящих фланцев, определяемых его методом, указанным нами ранее.

Так, если утяжка равна 4 мм, а число пропусков, содержащих ложные фланцы, равно 5, то высота первого по порядку прокатки ложного фланца должна быть $4 \cdot 5 = 20$ мм, не меньше.

Жез начинает образование ложных фланцев с предотделочного калибра.

Брово также дает толщину ложных фланцев в их основании для последнего пропуска обычно равной толщине в основании соответствующего настоящего фланца.

Все эти разновидности в определении размеров ложных фланцев приводят к разным результатам в смысле геометрических очертаний и площадей их и по свидетельству соответствующих авторов дают калибровки вполне удовлетворительные. На основании анализа калибровок швеллеров, приведенных у Брово, можно заключить, что главное, чего нужно придерживаться при определении размеров ложных фланцев, или как их называют в Германии, противофланцев, это то, чтобы суммарная площадь настоящего и ложного фланца давала коэффициент вытяжки, равный таковому для шейки, при чем в чистовом профиле часто дают несколько меньший коэффициент в шейке, чтоб улучшить заполнение профиля фланца, а в остальных пропусках, наоборот, дают в шейке несколько больший коэффициент, чтобы предотвратить образование заусенков в промежуточных профилях:



Фиг. 132.

¹ Stahl u. Eisen 1911, № 2. „Домез“ 1923, №3—4, стр. 85.

Большее значение имеет правильное положение калибра в отношении линии прокатки, чем колебания в размерах ложного флянца.

На основании этих соображений данная Кирхбергом формула не имеет под собою рациональной базы: с одинаковым успехом при выполнении указанного выше условия может быть применена и всякая другая.

Для иллюстрации соотношения указанных коэффициентов вытяжки воспользуемся приводимым ниже примером калибровок швеллера № 24 Брово, таблица 69. фиг. 133.

Таблица 69

№№ кал.	Ложный флянец				Настоящий флянец				ΣQ	$\Sigma \mu$	Ножка			
	a_1	b_1			a		h	Q			s		Q	
I	—	—	—	—	9,7	15,85	76,5	977	0977	1,126	9,5	241,75	2297	1,06
II	—	—	—	—	9,7	16,75	83,0	1100	1100	1,168	10,25	238	2440	1,18
III	15,5	18,75	4,5	77	10,75	18,75	82,0	1220	1297	1,175	12,25	235	2878	1,20
IV	17,0	21,5	6,0	116	11,25	21,5	86,0	1408	1524	1,216	15,0	231	3465	1,30
V	18,0	26,0	10,0	220	13,0	26,0	83,75	1633	1853	1,254	19,5	228	4436	1,3
VI	19,0	32,0	16,0	408	14,0	30,5	86,0	1914	2342	1,227	25,0	225	5625	1,3
VII	20,0	40,0	23,0	690	16,0	37,0	81,5	2160	2850	1,225	32,5	217,5	7068	1,3
VIII	22,0	49,0	31,0	1100	17,0	43,0	82,5	2475	3575	1,200	42,5	213,0	9053	1,3
IX	25,0	60,0	39,0	1657	20,0	51,0	74,0	2627	4284	—	57,0	208,0	11856	—

На основании анализа калибровок швеллеров, приведенных у Брово, можно принять следующие суммарные коэффициенты вытяжки ложных и настоящих флянцев $\Sigma \mu$ и коэффициент вытяжки ножки μ для нашего сортамента для первых 5-6 пропусков, начиная от чистового. В остальных калибрах, близких к обжиму, можно пользоваться совершенно произвольными коэффициентами (таблица 70).

Таблица 70

№№ кал.	№№ 30—24		№ 22		№ 20—18		№ 16—12		№ 10		№ 8		№ 6 1/2—5	
	$\Sigma \mu$	μ	$\Sigma \mu$	μ	$\Sigma \mu$	μ	$\Sigma \mu$	μ	$\Sigma \mu$	μ	$\Sigma \mu$	μ	$\Sigma \mu$	μ
I	1,13	1,06	1,14	1,06	1,15	1,06	1,15	1,06	1,16	1,15	1,17	1,16	1,18	1,17
II	1,16	1,18	1,17	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,19	1,21	1,21	1,22	1,22	1,23
III	1,19	1,24	1,20	1,24	1,21	1,24	1,21	1,24	1,22	1,27	1,25	1,28	1,26	1,29
IV	1,22	1,30	1,23	1,30	1,24	1,30	1,24	1,30	1,25	1,33	1,29	1,34	1,30	1,35
V	1,25	1,30	1,26	1,30	1,27	1,30	1,27	1,36	1,28	1,40	1,33	1,40	1,34	1,41
VI	—	—	—	1,30	1,30	1,30	1,30	1,36	1,31	1,46	1,37	1,46	1,39	1,47

Пользуясь этими коэффициентами, исходя из чистового профиля, можно легко найти все площади ножек, а также суммарные площади пары флянцев: настоящего и ложного.

В I и II калибре последние площади относятся только к настоящим флянцам, так как ложные здесь отсутствуют.

Начиная с III калибра появляется ложный флянец, площадь которого Q_1 можно принимать в процентах от суммарной площади $Q + Q_1$ (фиг. 133) по таблице 71.

Определив площади первых ложных флянцев Q_1 в третьем калибре, находим площади следующих ложных флянцев, пользуясь отношениями процентов, указанными в той же таблице 71 и выведенными из данных Брово.

Таблица 71

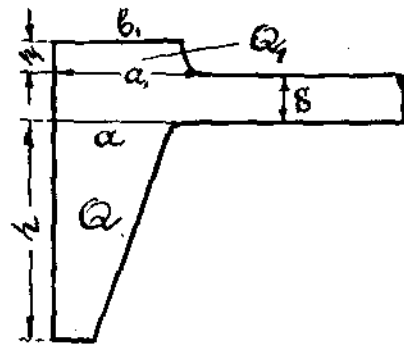
№ швеллер.	$Q_1 \pm \% Q + Q_1$	Отношение последоват. % площ. Q_1
30—18	6	1:1,5:2:3:4:5:6:7:8 6 9 12 18 24 30 36 42 48
16—12	6	1:2:3:4:5:6:7:8 6 12 18 24 30 36 42 48
10—5	8	1:2:3:4:5:6:7 8 16 24 32 40 48 56

Таким образом определяются все элементы калибров вплоть до тако-
го, в котором площадь $Q_1 = Q$ (точнее составляет $6 \times 8 = 48\%$ от $Q_1 + Q$).
Этот калибр вполне пригоден также и для двутавровых балок.

Зная площади элементов, не трудно найти их геометрические размеры.
Поясним сказанное на примере расчета калибровки швеллера № 24,
чтобы сравнить результаты с данными, приведенными в таблице 69.
Результаты расчета приведем в таблице 72.

Таблица 72

№ № кал.	Σa	$Q + Q_1$	%	Q_1	Q
I	1,13	977	—	—	977
II	1,16	1105	—	—	1105
III	1,19	1282	6	77	1205
IV	1,22	1524	9	137	1387
V	1,25	1903	12	228	1675
VI	1,25	2380	18	428	1954
VII	1,25	2970	24	712	2260
VIII	1,25	3700	30	1110	2600
IX	1,2	4450	36	1600	2850



Фиг. 133.

Сравнивая полученные данные с данными таблицы 69, находим весьма
близкое совпадение как площадей ложных флянцев, так и настоящих.

Определение геометрических размеров можно производить по форму-
лам Кирхберга, как было показано на примере калибровки двутавровых
балок, и принимая во внимание сказанное выше относительно смещения
конструкционной точки и размере элементов ложного флянца.

Что касается расположения калибров, то прокатку швеллеров следует
всегда вести настоящими флянцами вниз, вследствие чего в стане трио
можно вести прокатку только в несвязанных ручьях.

Различают два рода калибров при прокатке швеллеров; закрытые и
открытые калибры.¹ В закрытых калибрах настоящие флянцы врезаны
в одном валке, разрез же валков приходится в углах ложных флянцев
(фиг. 134). В открытых калибрах настоящие флянцы образуются ребрами
разных валков (фиг. 135).

Как уже было выяснено выше, толщина флянцев в закрытых калибрах
не может сильно уменьшаться. В них происходит главным образом умень-
шение высоты. Поэтому необходимо чередование закрытых и открытых
калибров, чтобы регулировать высоту флянцев и одновременно энергично
уменьшать толщину их в открытых калибрах и давать в них сильную
осадку ложных флянцев. Сильная осадка ложных флянцев в закрытых
калибрах не должна иметь места во избежание заусенок.

¹ Название определяется по положению в валках настоящих флянцев. Поэтому, например,
в закрытом калибре ложный флянец помещается в открытой части калибра.

В чистовом калибре Брово и Жез применяют исключительно закрытые калибры, Гольцвейлер предпочитает делать их открытыми, так как полагает, что при швеллере очень трудно получить острые кромки *a* (фиг. 134) без образования заусенок в закрытом калибре и легко — в открытом калибре, при чем вследствие малого давления в чистовом калибре образование заусенки при *b* (фиг. 135) не должно иметь места.



Фиг. 134.

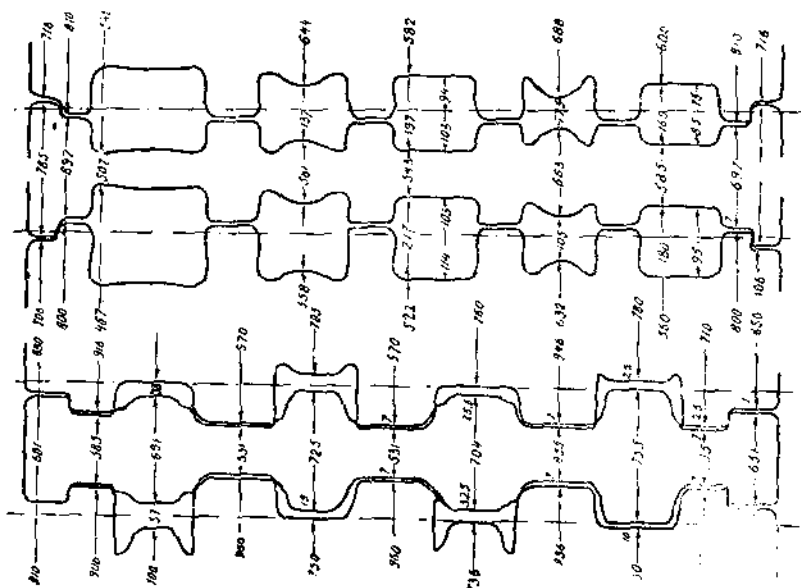


Фиг. 135.

В отношении швеллеров с высокими и узкими флянцами Гольцвейлер рекомендует применять во всех пропусках, по возможности, открытые калибры, только изредка располагая между ними закрытые калибры для регулирования высоты флянцев.

Для примера приведем на фиг. 136, 137 и 138 расположение калибров и калибровку швеллера № 24 по Брово.

Здесь следует отметить применение двух „ребровых“ пропусков между 10 и 11 связанными калибрами, имеющих цель: дать определенную высоту профилю. Положение штуки в ребровом калибре показано на фиг. 139. Прокатка в трио здесь допускает применение связанных ручьев только в черновой клетке.



Фиг. 136, 137.

Калибровка является общей также для № 23 $\frac{1}{2}$, за исключением последних пяти пропусков чистовой клетки.

Другой метод калибровки, заключающийся в постепенном загибе флянцев на специально подготовленной полосе, применяется редко, так как калибры занимают много места на валках.

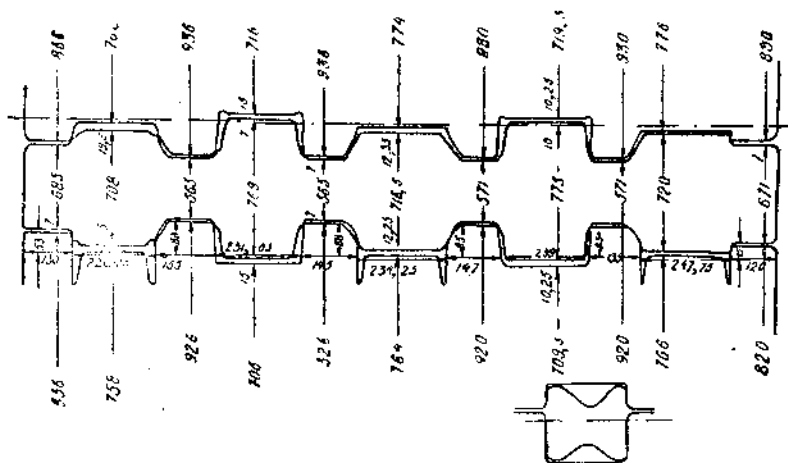
Для иллюстрации этого метода приведем лишь пример калибровки валков по этому методу из атласа Брово для швеллера № 26 (фиг. 1'0).

Утолщения на полосе сделаны для аккумуляции тепла в местах будущих угловых кромок ножки и флянцев.

Высота исходной заготовки может быть принята равной высоте заготовки, применяемой для того же номера двутавровой балки.

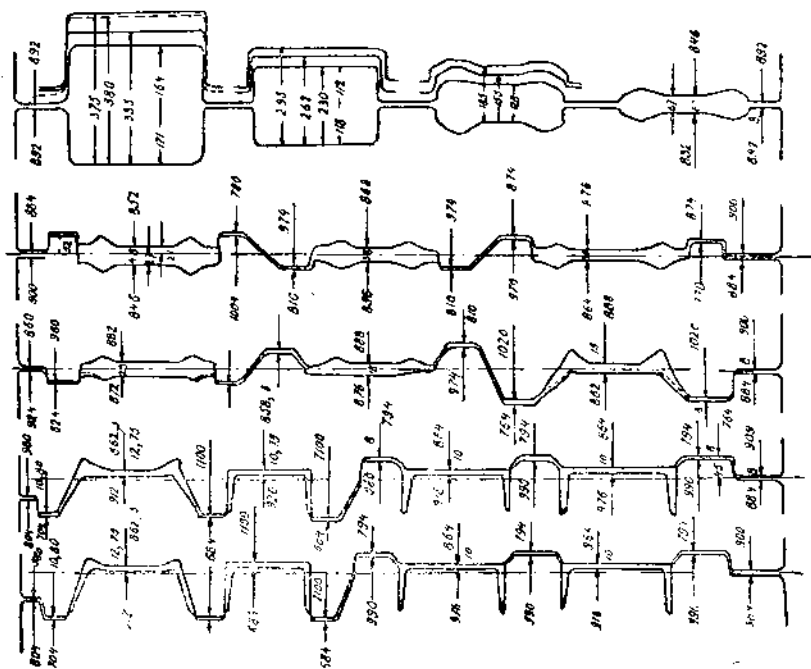
Калибровка рельсов

Рельс имеет один из самых сложных и несимметричных профилей; поэтому при прокатке он испытывает наиболее сложное истечение металла из одной части профиля в другую, по этой же причине в нем



Фиг. 138, 139.

больше, чем в каком-либо другом профиле, металл чувствителен к выявлению рванин и трещин. Ослабить указанные пороки, обусловленные качеством металла и слитков, можно, помимо улучшения качества металла



Фиг. 140.

в слитках, только обеспечением хорошего и равномерного прогрева, более равномерного распределения давлений в отдельных местах профиля в одном и том же пропуске, особенно при пониженной температуре; необходима также более высокая температура прокатки и более тщательная установка валков.

При рассмотрении основных правил фасонной калибровки мы уже отметили что неравномерность вытяжек, в особенности при первых пропусках, по необходимости весьма значительна, и при последних пропусках она не может быть вполне устранена. Поэтому неизбежные внутренние напряжения в готовом профиле ослабляются тем, что в последних пропусках даются весьма малые вытяжки, чего особенно тщательно приходится придерживаться при калибровке рельсов.

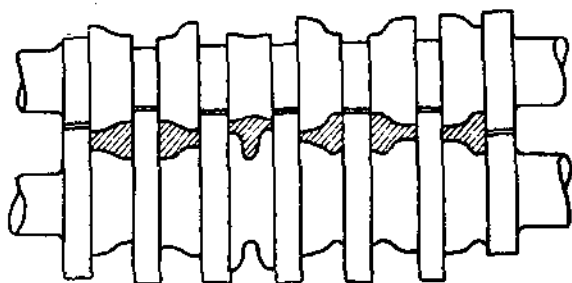
Там, где наблюдается значительная разница в вытяжке отдельных частей профиля, необходимо придавать наиболее ответственной части,



Фиг. 141.

а именно головке, больший коэффициент вытяжки, чтобы растягивающие напряжения сосредоточить не в головке, а в шейке и пяте. Обычно и соблюдается это правило. Однако чрезмерное увеличение этой разницы может при нездоровом металле вызвать образование поперечных рванин в пяте, имеющей более низкую температуру, чем головка. Части профиля, более массивные и имеющие большую вытяжку, тянут за собой менее массивные части, где вытяжка меньше. Если металл очень горяч, то он истекает из головки в шейку и в пяту, и напряжения исчезают. Если же металл очень холоден, то в головке он будет упруго сжат, а в шейке и в пяте — упруго натянут, то-есть наклепан. Эта разница напряжений обнаруживается в том, что отрезав головку рельса тотчас же после прокатки, всегда наблюдают сокращение длины шейки и пяты, освобожденных от растяжения их головкой. После охлаждения рельса с правкой на горячих стелюгах, благодаря большому сокращению головки, а также выравниванию температуры, растягивающие напряжения в шейке и пяте несколько ослабляются. Таким образом правка на горячих стелюгах с шаблоном должна благоприятно влиять на ослабление пороков возникающих под влиянием внутренних напряжений и являющихся одной из причин хрупкости рельсов в их дальнейшей службе.

Насколько холодная правка рельсов отражается на их качестве, можно судить по тому, что в Америке остывшие рельсы, имеющие стрелу прогиба от 0,01 до 0,015 их длины перед холодной правкой, зачисляются во 2-й сорт.



Фиг. 142.

Такие строгие требования в отношении холодной правки в Америке оправдываются тем, что американский рельсовый металл содержит гораздо больше углерода, чем европейский, а в особенности наш¹, и, следовательно, напряжения при правке там особенно велики и опасны в виду малой вязкости твердых рельсов.

Чтобы лучше оценить современное состояние калибровки рельсов, полезно вкратце ознакомиться с историей ее развития.

Первые рельсы (с 1808 по 1810 г.) прокатывались в виде полос от 1½" до 2" шириной и от ½" до 1¼" толщиной (фиг. 141). К 1830 г. рельс претерпел уже несколько изменений в форме сечения, пройдя, в частности, через форму, относящуюся к 1820 г. (на фиг. 142 представлена калибровка рельса этой формы). Если до того времени калибровка валков не представ-

¹ По последнему стандарту у нас также производится рельсы с высоким содержанием углерода.

ла особых трудностей, то после придания рельсам фасонного профиля она становится дорогим ценящимся искусством. Чертежи калибров и температуры для точки валков ценились очень дорого. Успешной прокатки каждого нового сечения достигали только после ряда опытов и исправлений калибров. В 1830 г. в калибровке рельса были сделаны значительные усовершенствования, приблизившие форму рельса к современному типу. Между тем в Америке в 1845 г. был предложен другой тип рельса — в виде U, который в 1859 г. перешел в тип грушевидной формы.

На фиг. 143 представлена калибровка этой формы.

Дальнейшее развитие профиля показано на фиг. 144.

Конструкция двигателей и двухвалковая система станков с постоянным направлением вращения валков не позволяли прокатывать полосы значительной длины. Так, например, первые партии рельсов выкатывались не длиннее 5 м, и последовавшее затем увеличение этой длины до 7,5 м считалось большим успехом. Дальнейшему увеличению длины рельсов, кроме того, препятствовали затруднения в сварке и прокатке более тяжелых железных и сталежелезных пакетов (327 кг).

Невозможность получения сварочного железа в больших массах, разумеется, отражалась на конструкции и эксплуатации прокатных станков, характеризовавшихся, вследствие низкого уровня техники, слабой разработкой деталей, неточной их пригонкой, плохой сборкой, применением



Фиг. 143.



Фиг. 144.

несоответствующих материалов для изготовления отдельных деталей и плохой установкой. Что касается производительности рельсопрокатных станков, то в 1850 г. в Англии она достигла в среднем 42 т, а как рекорд — 75 т за 12-часовую смену.

Современная форма рельса была прочно установлена в 60-х годах прошлого столетия. В дальнейшем изменения касались главным образом величины развеса погонной единицы и соотношения отдельных частей профиля.

В 60-х годах рельсы прокатывались в 17—19 фасонных калибрах. С особыми затруднениями при прокатке рельсов из пакетов была связана выработка необходимой ширины рельсовой пяты. Самая небольшая неравномерность вытяжки отдельных частей профиля вызывала напряжения, достаточные для разрыва пяты. Введение ребрового пропуска для выработки пяты нужной ширины еще более способствовало возникновению внутренних напряжений. В виду последнего обстоятельства при прокатке рельсов из пакетов потребители часто ставили условие, чтобы прокатка велась без ребрового пропуска.

Большой переворот в прокатном деле произвело изобретение Джона Фрица в Америке. Он сконструировал (в 1857 г.) рельсопрокатный стан-трио, который дал возможность ускорить прокатку рельсовой полосы. Обусловленное развитием техники и промышленности открытие бессемеровского, а затем томасовского и мартеновского способов, позволивших получать литую сталь в несравненно больших массах, чем сварочное железо, открыло возможность к увеличению производительности прокатных станков и послужило могучим стимулом к развитию и усовершенствованию прокатных устройств. Отметим изобретение Д. Фрицем (в 1872 г.) обжимного стана трио с автоматически действующими подъемными столами, способными поднимать и передвигать на своих рольгангах слитки до 5 т весом и получившими в Америке большое распространение при обжиге слитков и

прокатке рельсов. Отметим также изобретение в 1879 г. Рамсботомом (Англия) реверсивного стана дуо без маховика. Этот стан прежде всего начали применять в Европе как для обжима слитков весом до 5 и более тонн, так и для прокатки рельсов.

Таким образом Фриц и Рамсботом определили два основных течения в устройстве прокатных станов для производства рельсов: трио—в Америке и дуо—в Европе. Система дуо всюду теперь имеет преобладающее значение.

Прокатка рельсов из сварочного железа требовала большого искусства в составлении пакетов и хорошей сортировки мильбраса (полосовой заготовки), так как при этом старались, чтобы головка рельса состояла из сталистого железа, шейка же и пята—из мягкого волокнистого железа;

кроме того, необходимо было следить за правильным положением плоскостей сварки, во избежание расщепления металла в рельсе при его службе.

Для соблюдения этих условий большое значение имела форма рельса. В связи с указанными трудностями очень часто полученные рельсы, естественно, не вполне удовлетворяли своих потребителей, и в результате почти всякий строитель железной дороги, отвечавший за службу построенного пути, предлагал свою форму рельса, считая ее наиболее совершенной. Это об-

$8\frac{1}{2} \times 8\frac{1}{2}$



1867

Фиг. 145.

24"×20



1913

Фиг. 146.

стоятельство, с одной стороны, сильно отражалось на продуктивности производства, а с другой способствовало изобретательности и искусству калибровщиков. По свидетельству одного из английских авторов полновини прошлого столетия (Велькнера), в Англии токари, занимающиеся обточкой валков, превосходно знали свое дело и имели в нем такой навык, что с первого раза часто вытачивали вполне удовлетворительные валки для рельсов иногда совершенно иной формы.

Вопрос о том, какой металл—бессемеровский или пудлинговый следует применять в рельсопрокатном деле, оставался нерешенным до Всемирной Парижской выставки 1880 г., где были показаны результаты службы тех и других рельсов в течение ряда лет. После этого рельсы начали изготовлять исключительно из бессемеровского и маргеновского металла. Применение литой стали способствовало унификации формы рельса и выработке типичных калибровок, образцы которых представлены ниже.

Благодаря усовершенствованию рельсопрокатных станов, их производительность увеличилась во много раз, а длина рельсовой полосы достигла шестикратной длины нормального рельса (35—42 фута). Производительность рельсовых станов увеличилась с 25 000 т в год в половине прошлого столетия до 300 000—600 000 и даже 1 000 000 т в год в настоящее время.

Для иллюстрации происшедшего за это время прогресса укажем, что прокатный в 1867 г. на стане трио в Америке первый бессемеровский рельс (высотой в сечении $4\frac{1}{2}$ " и весом 27,5 кг в погонном футе с 4" флянцем) был изготовлен из слитка сечением $8\frac{1}{2} \times 8$ ", который после нагрева был предварительно прокован молотом до сечения $6\frac{1}{2} \times 6\frac{1}{2}$ " (фиг. 145). В настоящее время того же развеса рельсовая полоса прокатывается из слитка размером "24×24", обжимаемого в блюминге (фиг. 146).

По мере того, как улучшались и совершенствовались станы под влиянием потребностей растущей индустрии и улучшалось качество металла, калибровка рельсов изменялась в сторону уменьшения числа пропусков в фасонных калибрах.

Вместо 19 — 17 пропусков, число их было сведено сначала до 15, затем до 13 и, наконец, до 11 и даже 7. В настоящее время преобладает прокатка в 9, 10 и 11 пропусков.

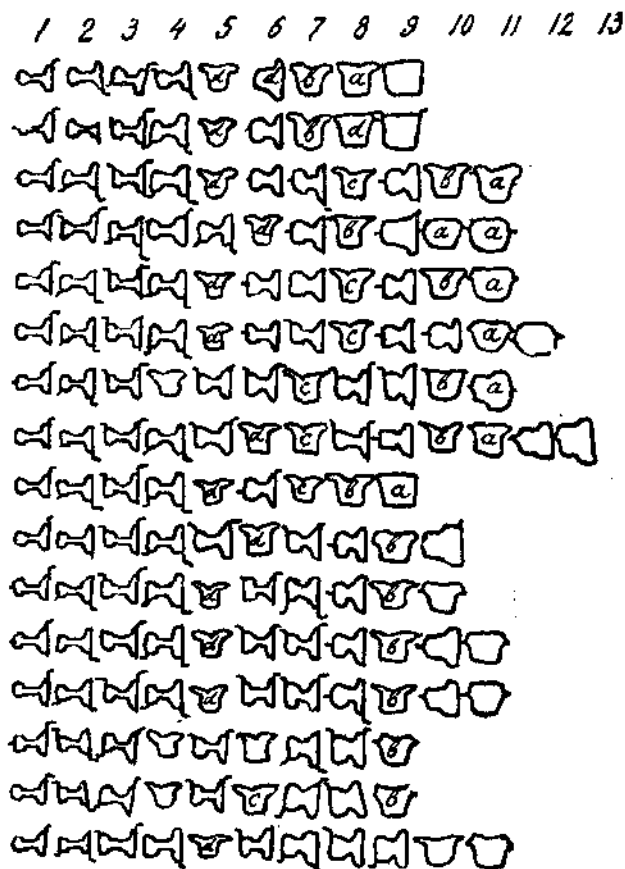
Попытки уменьшить число пропусков до 7 пока не привели к удовлетворительным результатам. Из таких попыток укажем калибровку инж. Удовенко (1902 — 1903 г.) в 7 пропусков из заготовки 140×140 мм, проведенную им на заводе имени Петровского и описанную в „Горюм журнале“ за 1902 г.¹ Результаты прокатки по выполнению профиля рельсов были вполне хороши, однако калибровка не привилась вследствие повышенной хрупкости рельсов, вероятно прокатывавшихся при пониженной температуре.

Современная калибровка рельсов построена по следующей схеме (фиг. 147)².

В первом фасонном калибре полоса получает трапециодальную (№№ 6, 9, 12, 13, 15, и 6) или близкую к ней форму (№№ 3, 5, 7, 8, 10, 11, и 14) при чем широкое основание трапеции предназначено для облегчения выработки необходимой ширины пяты, а узкое основание для выработки головки (№№ 3, 5, 10, 11, и 16). В следующем (иногда в следующих двух) проходе (№№ 1, 2, 4, 8, 9, 12 и 13), большей частью в ребровом (а и б) уже более определенно намечается выработка пяты; в то же время будущему рельсу дается приблизительная высота. Иногда выработка пяты начинается уже в первом калибре (№№ 3, 5, 7, 8, 10, 11, 14), который делается или ребровым или пластовым. Иногда же первый ребровой калибр отсутствует.

Следующий калибр — разрезной (№№ 2 — 16) в котором профиль разрезается на три части: пята, шейку и головку. От этого профиля в дальнейшем идет правильная калибровка, имеющая целью осуществить равномерное распределение вытяжки во всех частях профиля.

Вслед за разрезным калибром следует ребровой (с) для тех же целей, как и первый и второй ребровой калибр; но в большинстве случаев третьему ребровому калибру (с) предшествует опять пластовой для лучшей выработки начерно головки, шейки и пяты (№№ 7, 8, 10 — 16).



Фиг. 147.

¹ Укажем также калибровки рельсов Дегеца в 6, 7 и 8 пропусков. См. И. Дегец. Калибровка валков. Перевод инж. Э. К. Крикента под ред. проф. А. П. Виноградова. Каменское, 1928.

² Эта фигура взята из статьи А. А. Корнибера и Э. К. Крикента „Бюллетень Югославии“ № 2.

Тогда для той же цели (№ 16) следуют четыре пластовые калибра, не предусматривающих второго ребрового.

Для лучшей выработки флянцев пяты и уменьшения уширения по высоте рельса, эти два калибра устанавливаются с наклоном оси симметрии профиля (№ 15).

После третьего ребрового калибра (*c*), где таковой имеется, следует опять пластовой калибр, один или два (№№ 3, 5—7), предшествующие последнему и всегда обязательному ребровому калибру (*d*). Этот ребровой калибр в большинстве случаев является пятым с конца, реже шестым (№№ 4, 6, 10) или четвертым (№№ 7, 14, 15).

Назначение последнего калибра — придать точную высоту рельсу и в последний раз раздавить пяту.

Последние 3—4 калибра вырабатывают точный профиль рельса.

Итак, мы видим, что особенностью калибровки рельса по сравнению с балкой является не только чередование расположения открытых и закрытых калибров, заменяющее кантование штуки на 180°, но и неоднократное кантование штуки на 90° для лучшей выработки флянцев пяты и высоты рельса.

Мы видим, что для этой цели применяются или 4, или 3, или 2 ребровых пропуска (иногда называемых тавровыми), из которых последний является самым важным и имеет почти одно и то же положение во всех калибровках. В последнее время его стараются поместить в 5 или 6 пропуске от конца.

Последние 4 (иногда 3 или 5) калибра в большинстве случаев тождественны, но иногда второй и третий от конца калибры располагаются с наклонной осью симметрии, что облегчает и улучшает расточку валков, а также повышает срок их службы. Кроме того, в них хорошо обрабатываются флянцы пяты, что позволяет уменьшить число ребровых пропусков (№№ 1, 14 и 15).

Уменьшение числа ребровых пропусков следует считать целесообразным, так как в них неизбежна значительная неравномерность вытяжки отдельных частей профиля, а следовательно — при понижении температуры тонких частей (в особенности флянцев пяты) — и возникновение значительных внутренних напряжений. В таком случае при не вполне однородном или недостаточно раскисленном и чистом металле возможно появление рванин во флянцах пяты рельса и в других частях профиля. Широкое применение косою расположения оси симметрии калибров привело к выработке калибровки, в которой ребровые калибры (*c* и *d*) совершенно устраняются, как это предлагается калибровщиками завода имени Дзержинского А. А. Корнибером и Э. К. Крикентом („Бюллетень Югостали“ № 2, 1926), калибровка которых представлена на фиг. 148¹ (см. также „Домез“ № 3 (9) 1830). На фиг. 148-а дана существующая калибровка.

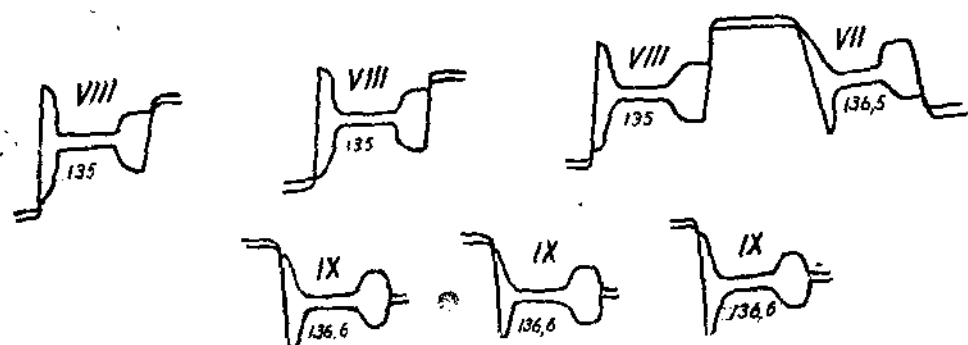
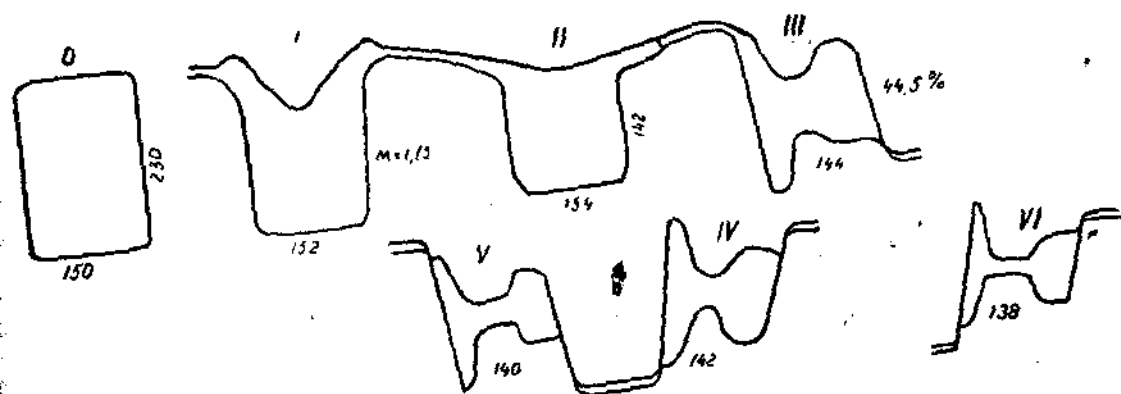
В этой калибровке оставлены только два ребровых калибра (*a* и *b*), из которых калибр *a*, собственно, является не ребровым, а разрезающим, на подобие первого калибра в угловом железе. Этот калибр значительно упрощает деформацию в ребровом калибре *b*, где вытяжка флянцев может быть сравнена с общей вытяжкой профиля².

Дальнейшая выработка ширины и толщины флянцев пяты хорошо осуществляется в косо расположенных калибрах, так как флянцы поочередно обрабатываются ребрами разных калибров, а вследствие чередования пропусков флянцев в закрытых частях калибра уточняются размеры флянцев по их длине.

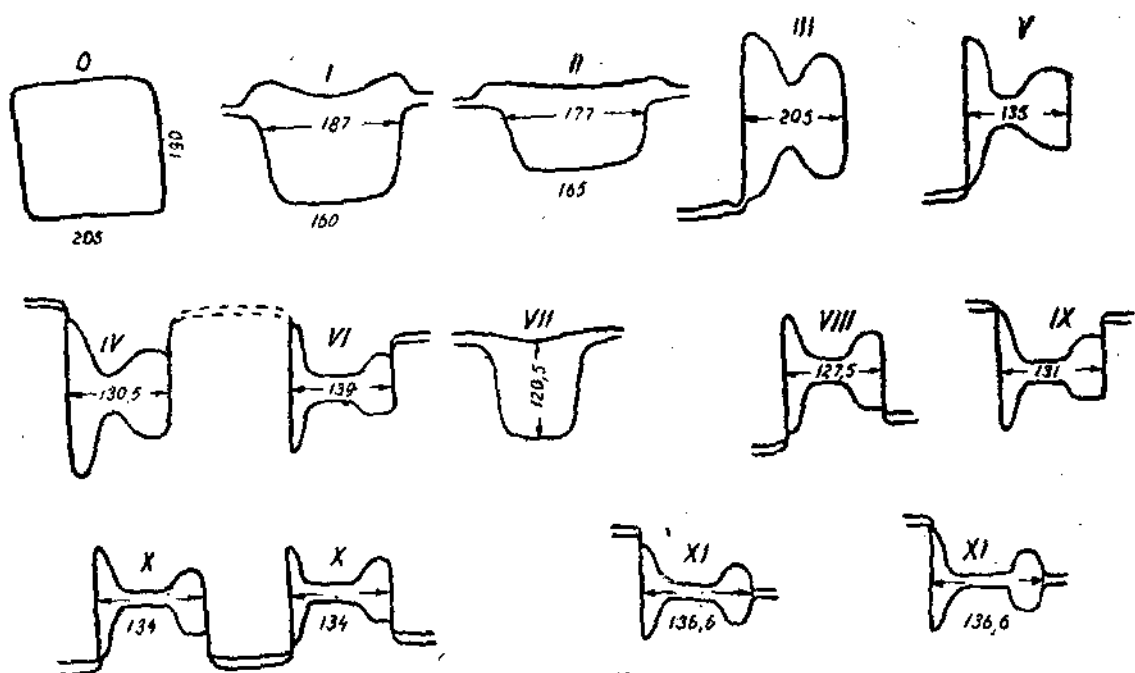
Разверзание калибров благодаря значительному уклону граней реборд облегчает задачу штуки в калибр и позволяет свести до минимума уши-

¹ Подобная калибровка была сделана инж. С. П. Миковым на заводе имени Петровского

² Калибры *a* и *b* заимствованы из калибровки Дегеца. Однако Дегец отмечает, что вследствие затруднительной задачи штуки в калибр *a* подобная калибровка не привилась.



Фиг. 148.



Фиг. 148 а.

рение по высоте рельсов и даже в некоторых случаях делать его отрицательным для лучшей проработки материала. Изношенные грани ребора здесь легко ремонтируются благодаря их значительному уклону.

Более подробно можно ознакомиться с этой калибровкой по указанной выше статье, где также приведена подробная характеристика действующих калибровок разных заводов.

Однако выбрать схему калибровки, дающей наибольшие возможности избежать значительных внутренних напряжений, еще недостаточно. Необходимо пропорционировать отдельные части профиля каждого калибра так, чтобы вытяжки в них были одинаковы.

Это легко осуществить на чертеже калибровки, исходя из чистового калибра и пользуясь правилами построения флянцев и шейки, применяемыми при калибровке двутавровых балок.

Правильность калибровки первых по порядку прокатки пропусков до калибра, предшествующего последнему ребровому калибру (a), в отношении распределения вытяжек особого значения не имеет: здесь не угрожает возбуждение опасных внутренних натяжений, так как температура металла в этих калибрах обыкновенно не ниже 1000°C . Но правильность распределения вытяжек в калибрах после ребрового пропуска (d) играет большую роль в отношении состояния металла после прокатки, так как в этих калибрах тонкие части — ножка и флянцы пяты — быстро охлаждаются. Обычно температура конца прокатки головки рельса колеблется в пределах $900-980^{\circ}$, а температура флянцев ножки, когда они находятся в калибре, около $850-930^{\circ}$. Но иногда температура конца прокатки по головке падает до 800° , и тогда флянцы пяты могут охладиться до 750° или даже ниже. В последнем случае в рельсе могут возникать весьма значительные напряжения.

Наиболее опасным местом является ребровой калибр (d), в котором никогда не бывает правильного распределения вытяжек. В нем и после него при охлажденной прокатке и при недоброкачественном металле можно ожидать возникновения рванин и трещин.

Калибровка рельсов, как и всяких других профилей, не только имеет целью получение точного профиля и ненапряженного металла, но и преследует задачи экономического порядка: сокращение парка валков и уменьшение их износа, менее частая и более удобная переточка валков, удлинение срока службы валков и т. д. Для этого пользуются ребровыми калибрами, косой калибровкой и другими приемами, которые лучше всего изучать на производстве¹.

Не рассматривая ход расчета элементов отдельных калибров для рельсов тяжелого типа, приведем пример расчета калибровки рельсов легкого типа по методу Торкара².

Торкар предлагает определять сечение заготовки для рельсов по следующим формулам:

$$H = 1,6 h_0$$

$$B = b_0 - \Sigma z,$$

где:

H — высота заготовки,

b_0 — ширина пяты холодного рельса,

B — ширина заготовки,

h_0 — высота шейки горячего рельса,

Σz — сумма уширений при прокатке.

В качестве примера приведем расчет калибровки рудничного рельса № 3 в 5 пропусков из заготовки, определенной по указанным выражениям.

¹ „Centralblatt d. Hütten und Walzwerke“ № 19, 1928.

² Приведенный далее пример расчета сделан инж. Сарманом в его дипломном проекте, представленном в Днепрпетровский горный институт в 1928 г.

Обозначения холодного профиля даны на фиг. 149.
Размеры рельса в холодном состоянии в (мм):

Пята

$$h = \frac{54-7}{2} = 23,5$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{3,5} = 0,286$$

$$x = \frac{12}{0,286} = 38,5$$

$$a = (x - h) \operatorname{tg} \alpha = (38,5 - 23,5) \cdot 0,286 = 4,29$$

$$b = x \operatorname{tg} \alpha = 38,5 \cdot 0,286 = 11,02.$$

Шейка

$$B_0 = 65$$

$$S = 7.$$

Головка

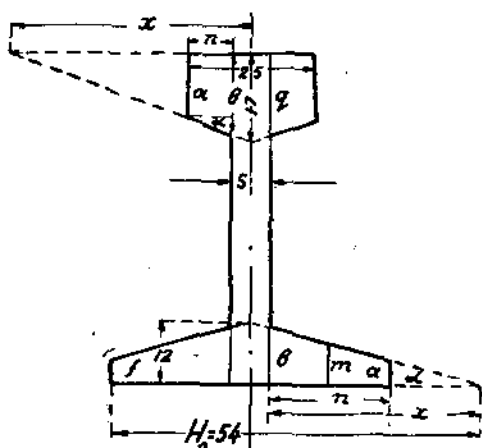
$$h = 12,5 - 3,5 = 9$$

$$\operatorname{tg} \alpha = 0,286$$

$$x = \frac{17}{0,286} - 3,5 = 55,94$$

$$a = 17 - 12,5 \cdot 0,286 = 13,42$$

$$x \operatorname{tg} \alpha = b = 55,94 \cdot 0,286 = 16,0.$$



Фиг. 149.

Размеры готового профиля в горячем состоянии получаются умножением h , a , b , B и S , на 1,0125. Отсюда имеем:

Пята

$$h_1 = 23,8 \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{b - a}{n} = 0,286$$

$$a_1 = 4,34 \quad x = \frac{b}{\operatorname{tg} \alpha} = 38,9$$

$$b_1 = 11,16 \quad f_1 = \frac{1}{2} \cdot (4,34 + 11,16) \cdot 23,8 = 185.$$

Шейка

$$B_1 = 65,8; \quad S = 7,09; \quad \text{Площадь } S = 65,8 \cdot 7,09 = 466.$$

Головка

$$a_1 = 13,6 \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{b_1 - a_1}{h_1} = 0,285$$

$$b_1 = 16,2 \quad x = \frac{b_1}{\operatorname{tg} \alpha} = 56,8$$

$$h_1 = 9,11 \quad G_1 = \frac{13,6 + 16,2}{2} \cdot 9,11 = 136.$$

Общая площадь $F_1 = 11,08 \text{ мм}^2$.

Коэффициент вытяжки в чистовом калибре примем $\mu_1 = 1,11$; коэффициент обжатия $k = \frac{1}{1,11} = 0,9$ как для всего профиля, так и для его элементов.

Находим теперь площадь элементов и полную площадь предотделочного калибра:

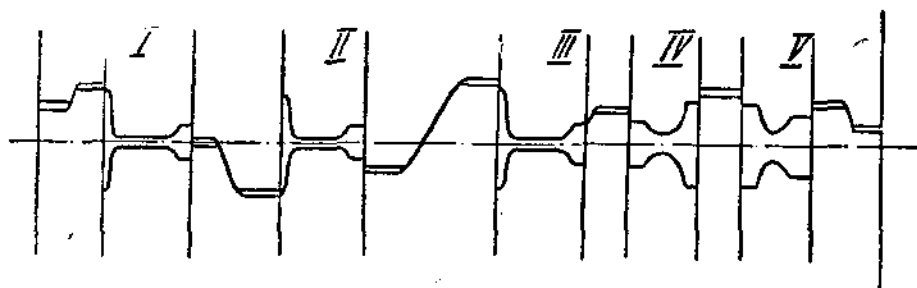
$$\left. \begin{aligned} q_{II} &= 1,11 \cdot 136 = 151 \text{ мм}^2, \\ f_{II} &= 1,11 \cdot 185 = 206 \text{ мм}^2, \\ s_{II} &= 1,11 \cdot 466 = 518 \text{ мм}^2, \\ F_{II} &= 1232 \text{ мм}^2. \end{aligned} \right\}$$

В дальнейшем, пользуясь изложенным выше методом Торкара, рассчитаем калибровку балки № 10.

Размер заготовки: $H = 1,6 \cdot 54 = 86,4 \sim 85$ мм.

Для определения ширины заготовки задаемся суммарным уширением $\Sigma s = 10$ мм, считая на пропуск ~ 2 мм (в среднем). Как выяснено раньше, уширение можно довольно свободно варьировать в широких пределах, так как здесь имеем дело с несвободным и вынужденным уширением.

Следовательно $B = 65 - 10 = 55$ мм.



Фиг. 150.

Итак, исходная заготовка $B \cdot H = 85 \times 55$ мм; $Q = 4675 \text{ мм}^2$.

Средний коэффициент вытяжки $\mu_m = \sqrt[4]{\frac{4675}{1232}} = 1,395$ или $k_m = 0,717$.

Среднее относительное уменьшение сечения: $a_m = 100 - 71,7 = 28,3$.

Распределим получаемые $4 \times 28,3 = 113$ между четырьмя пропусками, как показано в расчетной таблице 73.

Таблица 73

№ кал.	$a\%$		μ	F	q	f	S	Z	B	s
I	10	0,9	1,11	1108	136	185	466	1,8	65,8	7,1
II	27	0,73	1,37	1232	151	206	518	2	64	8,1
III	29	0,71	1,41	1608	207	282	710	2	62	11,5
IV	31	0,69	1,45	2377	291	397	1000	2,5	60	16,7
V	26	0,74	1,35	3445	421	576	1480	2,5	57,5	25,7
Болванка	—	—	—	4675	—	—	—	—	55	—

Принимаем схему калибров без ребрового пропуска, так как точность высоты рудничных рельсов может быть выдержана менее строго, чем тяжелых. Кроме того, абсолютные давления, истирающие калибры, здесь значительно меньше, чем при прокатке тяжелых профилей, а следовательно меньше износ валков. Схема представлена на фиг. 150.

Закрытые части калибров наведены толстыми линиями. В них утяжку флянцев пяты и головки принимаем 2,2—5 мм. Уширение в открытых

флянцах пята принимаем 1 мм, а в остальных частях головки утяжку или вертикальное давление — 1 мм.

Расчет размеров приводим в таблице 74.

Таблица 74

Калибры	I	II	III	IV	V
Размеры	h_I	h_{II}	h_{III}	h_{IV}	h_V
Верхняя часть головки	9,1	$9,1+1=10,1$	$10,1+3,5=13,6$	$13,6+1=14,6$	$14,6+5=19,6$
Верхний фланец пята	23,8	$23,8-0,3=23,5$	$23,5+3,5=27$	$27-1=26$	$26+5=31$
Размеры	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5
Нижний фланец головки	9,1	$9,1+2,9=12$	$12+1=13$	$13+5=18$	$18+1=19$
Нижний фланец пята	23,8	$23,8+2,2=26$	$26-1=25$	$25+5=30$	$30-1=29$

Определение прочих линейных размеров элементов калибров, кроме шеек, размеры которых указаны в таблице 73, приводим, исходя из площадей, положения конструкционной точки и только что найденных высот.

Калибр II

Головка, верхняя часть

$$\left. \begin{array}{l} x=56,8 \\ h_{II}=10,1 \\ q_{II}=151 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{определены} \\ \text{выше} \end{array}$$

$$m_{II} = \frac{q_{II}}{h_{II}} \cdot \frac{151}{10,1} = 14,95$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{m_{II}}{x - 0,5 h_{II}} = 0,289$$

$$a_{II} = (x - h_{II}) \operatorname{tg} \alpha = 13,5$$

$$b_{II} = x \operatorname{tg} \alpha = 16,8.$$

Пята, верхний фланец

$$x = \frac{b_I}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{11 \cdot 16}{0,286} = 38,9$$

$$h_{II} = 23,5 \text{ (таблица 53)}$$

$$f_{II} = 206 \text{ (таблица 52)}$$

$$m_{II} = \frac{f_{II}}{h_{II}} = 8,766$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{m_{II}}{x - 0,5 h_{II}} = 0,3229$$

$$a_{II} = (x - h_2) \operatorname{tg} \alpha = 5$$

$$b_{II} = x \cdot \operatorname{tg} \alpha = 12,6.$$

Головка, нижняя часть

$$x = 56,8$$

$$h_2 = 12$$

$$q_2 = 151$$

$$m_2 = \frac{151}{12} = 12,59$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{m_2}{x - 0,5 h_2} = 0,2487$$

$$a_2 = (x - h_2) \operatorname{tg} \beta = 11,1$$

$$b_2 = x \operatorname{tg} \beta = 14,1.$$

Пята, нижний фланец

$$x = 38,9$$

$$h_2 = 26 \text{ (таблица 74)}$$

$$f_2 = 206 \text{ (таблица 75)}$$

$$m_2 = \frac{206}{26} = 7,923$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{m_2}{x - 0,5 h_2} = 0,3059$$

$$a_2 = (x - h_2) \operatorname{tg} \beta = 3,9$$

$$b_2 = x \operatorname{tg} \beta = 11,9.$$

Таким же образом определяем размеры остальных калибров.

Все размеры сведены в таблице 75. Римскими цифрами обозначены верхние части, арабскими — нижние.

№ № калибров	Элементы		$m = \frac{q}{f}$ или $m = \frac{f}{b}$	$\operatorname{tg} \alpha$ или $\operatorname{tg} \beta$	a	b
	Обозначения	Площадь (мм ²)				
I	q_I	136	—	0,285	13,6	16,2
	q_1	136	—	0,285	13,6	16,2
	f_I	185	—	0,286	4,34	11,16
	f_1	185	—	0,286	4,34	11,16
II	q_{II}	151	14,95	0,289	13,5	16,8
	q_2	151	12,59	0,2487	11,1	14,1
	f_{II}	206	8,766	0,229	4,9	12,6
	f_2	206	7,923	0,30,9	3,9	11,9
III	q_{III}	207	15,22	0,3044	13,2	17
	q_3	207	15,92	0,3165	13,9	18,0
	f_{III}	282	10,44	0,4112	4,9	16,0
	f_3	282	11,28	0,4273	5,94	16,6
IV	q_{IV}	291	19,93	0,4027	17,0	17,0
	q_4	291	17,12	0,3544	14,1	20,0
	f_{IV}	397	15,27	0,3895	7,6	22,9
	f_4	397	13,70	0,5611	5,6	21,8
V	q_V	421	21,48	0,457	17,0	26,0
	q_5	421	22,16	0,4685	17,7	21,1
	f_V	576	18,58	0,794	6,3	30,9
	f_5	576	19,86	0,833	8,1	32,4

Правильность выбранных коэффициентов вытяжки, а следовательно размеров калибров и числа пропусков, Торкар предлагает проверять по таблице Кирхберга, где рост размеров флянцев пяты в толщину определяется по формуле $dy = dx + \frac{dx^2}{200}$. Если отступления будут превышать 5%, против данных таблицы, то необходимо будет изменить коэффициенты и число пропусков.

Подставляя вместо dy и dx значение b из открытой в закрытую часть, например, для V калибра, где $dy = 32,4$ и $dx = 21,8$, находим:

$$30,9 = 22,9 + \frac{22,9^2}{200}$$

$$30,9 > 25,5.$$

Отступление больше 5%. Такое же отступление находим и для остальных калибров. Следовательно, надо увеличить число пропусков. Сделанный таким же способом расчет на 7 пропусков дает после проверки удовлетворительные результаты, эта калибровка, представленная в таблицах 76 и 77, может быть принята как удовлетворительная для V калибра.

Для этого случая имеем:

$$\mu_m = \sqrt[3]{\frac{4675}{1,25}} = 125 \text{ или } k_m = 0,8015.$$

Среднее относительное уменьшение сечения:

$$a_m = 100 - 80,15 = 19,85.$$

Распределяем $6 \cdot 19,85 = 119$ на шесть неравных частей, как указано в таблице 76.

Таблица 76

№ № калиб- ров	$a \%$	k	μ	F	q	f	S	B	s	Z
I	10	0,90	1,11	1108	136	185	466	65,8	4,1	1,8
II	18	0,82	1,22	1232	151	206	518	65,0	8,0	1
III	10	0,90	1,11	1503	185	250	682	64,0	9,9	1,2
IV	11	0,89	1,125	1670	205	275	702	62,8	11,2	1,5
V	31	0,69	1,45	1876	230	310	798	61,3	13,0	1,8
VI	31	0,69	1,45	2718	333	450	1156	59,5	19,4	2
VII	16	0,84	1,19	3940	483	652	1676	57,5	29,2	2,5
олв.	—	—	—	4675	—	—	—	50,0	—	—

Подсчеты показывают, что весьма трудно, даже за счет изменения h , всегда удовлетворить зависимости Кирхберга. Впрочем, уже и ранее было указано, что не всегда следует держаться параметра 200. Об осуществимости вычисленной в таблице 77 калибровки говорит тот факт, что Жез¹ и Брово² дают калибровку рельсов приблизительно таких же размеров (Жез — развеса $5\frac{1}{2}$ кг/пог. м и Брово — 8 кг/пог. м), в которых указанная зависимость Кирхберга при параметре 200 не соблюдается.

Жез дает 7 пропусков из болванки 55 мм и Брово — 6 пропусков из болванки 100 мм.

Исследования действующих калибровок рельсов, балок и швеллеров небольшого развеса на наших заводах показывают, что можно придерживаться зависимости:

$$dy = dx + \frac{dx^2}{100}$$

и даже

$$dy = dx + \frac{dx^2}{60}$$

Эти зависимости удовлетворяются вполне для прокатки рельса №3 в 7 пропусков. Если при этом $dy > dx + \frac{dx^2}{60}$ на 5% или имеется равенство, то калибровка удовлетворительна в смысле напряжений в закрытом флянце.

В открытом флянце dy может быть значительно больше, так как там между ребрами разных валков нет волочения.

Дегец³ дает десять примеров калибровки рельс для десяти различных сортов рельсов. Указанные им калибровки проверены в работе на производстве. Они представлены в виде чертежей калибров и числовых таблиц, дающих линейные размеры калибров.

Собрание калибровок Дегеца содержит в себе, кроме калибровки рельсов, также значительное число калибровок сложных фасонных профилей, среди которых следует упомянуть высокофланцевые швеллеры, специальные коробчатые и желобчатые профили, накладки, специальные

¹ Жез. Калибровка валков. Стр. 202.

² Брово. Калибровка валков. Стр. 104.

³ И. Дегец. Калибровка валков. Перевод инж. Э. К. Крикента под редакцией проф. А. П. Виноградова. Изд. 1928 г.

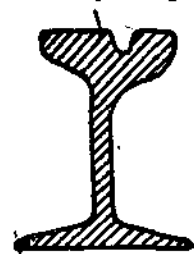
№ калибра	Обозначения	F	m	$\operatorname{tg} \alpha$ или $\operatorname{tg} \beta$	a	b	h
I	$q_I = q_1$	136	—	0,285	13,6	16,2	9,1
	$f_I = f_{II}$	185	—	0,286	4,34	11,6	23,8
II	q_{II}	151	14,95	0,289	13,5	16,8	10,1
	q_2	151	12,59	0,2487	11,1	14,1	12,0
	f_{II}	206	8,766	0,3229	4,9	12,6	23,7
	f_2	206	7,716	0,3026	3,7	11,8	26,7
III	q_{III}	185	11,5	0,2383	12,5	16,0	12,4
	q_3	185	14,23	0,283	12,4	16,1	13
	f_{III}	250	9,07	0,362	4,1	14,1	27,7
	f_3	250	9,775	0,3753	4,9	14,6	25,7
IV	q_{IV}	205	15,3	0,3055	13,1	17,2	13,4
	q_4	205	13,67	0,2772	11,6	15,8	17,0
	f_{IV}	275	10,09	0,3996	4,7	15,5	27,2
	f_4	275	9,477	0,394	3,4	15,1	29,7
V	q_V	230	14,94	0,4794	12,6	17,3	15,4
	q_5	230	14,38	0,2946	12,0	16,8	18,0
	f_V	310	9,936	0,4456	3,3	16,6	31,2
	f_5	310	10,62	0,4369	4,1	17,0	29,2
VI	q_{VI}	333	20,30	0,6622	16,9	23,7	16,4
	q_6	333	15,49	0,3363	11,9	19,1	22,5
	f_{VI}	450	14,66	0,6224	5,1	24,1	30,7
	f_6	450	13,35	0,6056	3,2	23,5	33,7
VII	q_{VII}	483	21,09	0,4651	15,8	26,4	22,9
	q_7	483	20,55	0,4662	15,2	25,4	23,5
	f_{VII}	652	18,53	0,8696	3,2	26,9	35,2
	f_7	652	19,76	0,88	5,2	35,1	33,0

тавровые профили, специальные и сложные углообразные профили, шпалы и др.

Изложенные в нашей книге методы калибровки дают возможность легко разобраться в таблицах и чертежах упомянутого собрания калибровок специальных профилей.

Остановимся на особенностях калибровки желобчатых рельсов и широкофляцевых балок.

Особенность калибровки желобчатых трамвайных рельсов (фиг. 151 — рельсы Феникс) заключается в выдавливании желобка в головке рельса. Это выдавливание производится при помощи специального ролика с вертикальной осью (фиг. 152). При этом для образования правильного профиля этот ролик должен не столько вдавливаться в металл, сколько раздвигать его. В противном случае очень трудно получить нужного размера „перо“ (a), которое



Фиг. 151.

или утягивается, то-есть делается короче, чем следует, или, наоборот, чрезмерно удлиняется. Поэтому необходимо в последнем пропуске врезать ролик по возможности без уменьшения сечения рельса и во всяком случае строго соблюдать равенство натуральных вытяжек. К сожалению

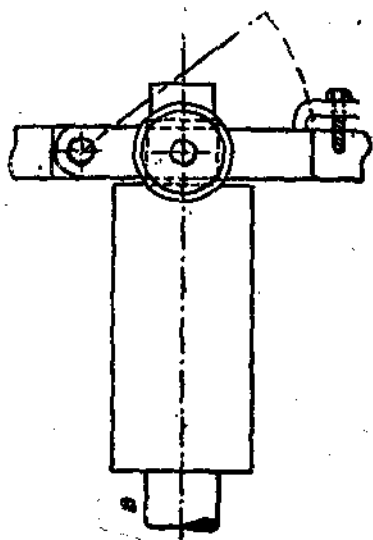
вопрос о калибровке желобчатых рельсов почти совершенно не освещен в литературе.

Далее приводим калибровку желобчатых рельсов, данную Дегецем (фиг. 153), где желобок образуется в последних двух пропусках нажимом ролика. В предпоследнем пропуске разрезание сопровождается вытяжкой головки, согласованной с вытяжкой пяты и шейки. В последнем пропуске ролик разрабатывает выемку также с небольшой равномерно распределенной вытяжкой всего профиля, при чем происходит некоторая утяжка пера. Для уменьшения утяжки пера следует осторожно усилить вытяжку шейки.

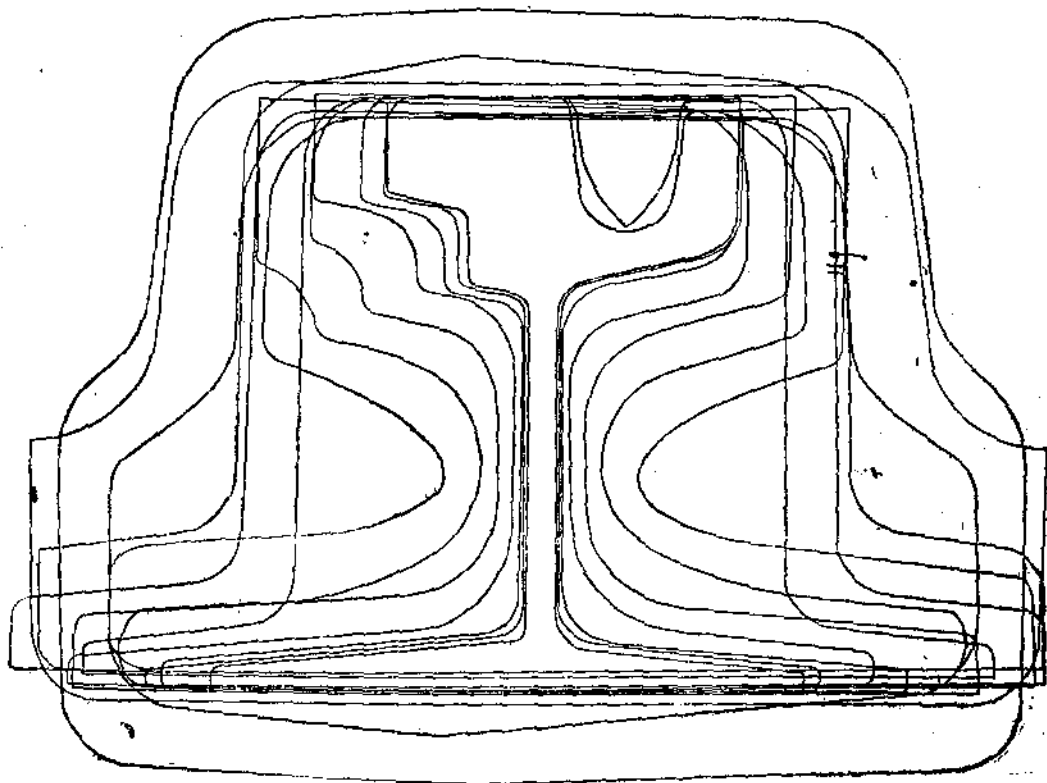
В таблице 78 приведены линейные размеры калибров желобчатого рельса по Дегецу.

При прокатке двутавровых балок с высокой ножкой и широким флянцем часто образуется волнистая ножка. Это явление встречается также и при прокатке балок нормальной высоты, если в шейке дано излишнее давление.

Гольцвейлер предложил давать по ширине ножки не одинаковое обжатие (фиг. 154), уменьшая его к середине и увеличивая к фланцам. При



Фиг. 152.



Фиг. 153.

этом вытяжка фланцев несколько больше вытяжки ножки. Благодаря этому металл течет из фланцев в ножку, а не наоборот, как это происходит

№№ проп.	Шейка				Подшва							
	1		2		3		верхн. 4, нижн. 5		верхн. 6 нижн. 7		верхн. 8 нижн. 9	
	Высота		Толщина		Высота по- дошвы		Половина высоты подошвы		Толщина у шейки		Толщина у конца	
проп.	мм	Отно- шение	мм	Отно- шение	мм	Отно- шение	мм	Отно- шение	мм	Отно- шение	мм	Отно- шение
0	225	—	350	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1	235	-1,04	244	+1,43	295	± 0	в. 147,5 н. 147,5	± 0	130	± 0	107	—
2	190	+1,23	240	+1,02	313	-1,06	в. 153,5 н. 156,5	-1,06	90	+1,44	80	+1,34
3	208	-1,09	186,5	-1,28	267	+1,17	в. 133,5 н. 133,5	+1,17	102,5	-1,08	70,2	+1,14
4	169	+1,23	187	-1,00	309	-1,16	в. 154 н. 155	-1,15	97,3	-1,14	67,5	+1,18
5	173	-1,02	58	+3,22	285,5	+1,08	в. 152,5 н. 133	+1,02	44,5	+2,18	36	+1,88
6	171	+1,01	59	-1,02	318,5	-1,11	в. 155,5 н. 163	+1,06	47	-1,03	31	+1,09
7	178,5	-1,04	38	+1,55	275,5	+1,16	в. 143,5 н. 132	-1,22	46	± 1,00	22	+1,00
8	182,5	+1,02	27	+1,41	264	+1,04	в. 136 н. 128	+1,14	30,5	+1,54	22	± 1,00
9	178	+1,02	28	-1,01	282	-1,07	в. 138 н. 138	+1,12	29	+1,19	18	+1,22
10	179	-1,01	17,3	+1,62	248,5	+1,13	в. 144 н. 104	± 1,06	30,5	± 1,00	23	-1,05
11	182	-1,02	12,5	+1,38	229,5	+1,08	в. 144,5 н. 114,5	+1,38	23	+1,00	10	+1,80
12	182,5	-1,01	11	+1,14	207	+1,11	в. 115 н. 87	+1,05	19,5	+1,05	8,5	+1,15
13	182,5	± 1,00	10	+1,10	182	+1,14	в. 114,5 н. 120	-1,10	16,5	+1,06	7,7	+1,36
							в. 87 н. 82	+1,26	18,7	+1,01	8,5	± 1,00
							в. 82 н. 100	+1,31	16	+1,03	8	-1,04
								-1,04	17	+1,16	6	+1,42
								+1,06	14,7	+9,9	7	+1,14
								+1,2	16,5	+1,03	7	-1,17

при образовании в ней волны. В последних пропусках Гольцвейлер совсем не дает обжима в середине ножки. В предыдущих пропусках толщина ножки по концам ее, у флянцев, увеличивается значительно быстрее, чем в середине. Этим устраняются напряжения при переходе флянцев в ножку. Если шейка имеет меньшую натуральную вытяжку, чем флянцы, то они испытывают растягивающие напряжения, а флянцы — сжимающие, поэтому в месте перехода флянцев к ножке появляются наибольшие напряжения. Таким образом постепенное уменьшение обжатия от флянцев к середине ножки устраняет возникновение этих опасных напряжений.

Прокатка балок Грея

Как уже было выяснено ранее, прокатка флянцев всегда сопровождается или большой разницей скоростей обрабатывающих их реборд или же флянец проволакивается через закрытую часть калибра. Эти обстоятельства вызывают особые затруднения при прокатке весьма крупных балок, балок Грея, делающих невозможным прокатку их указанным способом. Прокатка балок Грея сделалась возможной только в специальных станах, в которых как флянцы так и ножка балки прокатываются прямым давлением благодаря одновременному применению горизонтальных и вертикальных валков.

Схема образования калибра представлена на фиг. 155. Этот способ прокатки практически был применен впервые Греем, по имени которого получили название прокатываемые в стане Грея балки.

Таблица 78.

Головка												Желоб	
верхн. 10, нижн. 11		12		верхн. 13, нижн. 14		верхн. 15, нижн. 16		верхн. 17, нижн. 18		верхн. 19, нижн. 20		21	в. 21 н. 23
Расстояние от шейки		Высота		Половина высоты		Толщина у шейки		Толщина у конца		Расстояние от шейки		Глу- бина	Ши- рина
мм	Отно- шение	мм	Отно- шение	мм	Отно- шение	мм	Отно- шение	мм	Отно- шение	мм	Отно- шение		
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
25,5	—	220	± 0	110	—	—	—	—	—	0	—	—	—
25,5	—	—	—	110	—	—	—	—	—	0	—	—	—
36,5	— 1,43	215	+ 1,02	107,5	+ 1,02	—	—	—	—	0	—	—	—
36,5	— 1,43	—	—	107,5	+ 1,02	—	—	—	—	0	—	—	—
40,25	— 1,10	186,5	+ 1,15	93,25	+ 1,15	—	—	—	—	0	—	—	—
40,25	— 1,10	—	—	93,25	+ 1,15	—	—	—	—	0	—	—	—
60,5	— 1,50	184	+ 1,01	92	+ 1,02	—	—	—	—	0	—	—	—
61,5	— 1,52	—	—	92	+ 1,02	—	—	—	—	0	—	—	—
123,5	— 2,01	178	+ 1,03	89,5	— 1,02	97	—	77,5	—	64,5	—	—	—
104	— 1,72	—	—	84,5	+ 1,09	97	—	72	—	55,5	—	—	—
26	— 1,02	177	+ 1,01	89	+ 1,01	97	± 1,00	77,5	± 1,00	63,5	+ 1,02	—	—
133,5	— 1,28	—	—	84	+ 1,01	97	—	72	—	54,5	+ 1,02	—	—
124,5	+ 1,07	167,5	+ 1,06	83,5	— 1,05	82,5	+ 1,18	68,5	+ 1,05	69,5	— 1,28	—	—
113	+ 1,12	—	—	79	+ 1,18	86,5	+ 1,12	68	+ 1,14	60	+ 1,06	—	—
122,5	— 1,08	148,5	+ 1,13	77,5	+ 1,04	77	+ 1,12	62	+ 1,12	64	— 1,17	—	—
114,5	+ 1,09	—	—	71	+ 1,25	74	+ 1,11	63	+ 1,11	57,5	+ 1,21	—	—
130	— 1,06	148,5	+ 1,00	77,5	± 1,00	77	± 1,00	62	± 1,00	63,5	+ 1,0	—	—
124	— 1,08	—	—	71	—	74	—	63	—	57	+ 1,01	—	—
95,35	+ 1,06	134	+ 1,11	62,5	+ 1,25	69	+ 1,12	56,5	+ 1,10	53,85	+ 1,18	—	—
135,85	— 1,09	—	—	71,5	— 1,01	63,7	+ 1,16	62,5	+ 1,94	62,8	— 1,10	—	—
108,25	— 1,14	115	+ 1,16	59,5	+ 1,05	59	+ 1,17	50	+ 1,13	53,25	+ 1,01	—	—
108,25	+ 1,25	—	—	55,5	+ 1,29	63,5	+ 1,01	32	+ 1,02	49,25	+ 1,28	—	—
81,55	+ 1,33	109	+ 1,05	60	— 1,01	57,5	+ 1,03	74	+ 1,16	54,5	+ 1,02	40	35
114,5	— 1,05	—	—	49	+ 1,13	61	+ 1,01	31	+ 1,03	43,5	+ 1,3	—	24
77	+ 1,06	109,3	— 1,00	61,5	— 1,02	56,8	+ 1,01	46	+ 1,02	56,3	— 1,03	41	36
95	+ 1,21	—	—	48	+ 1,02	60	+ 1,02	29,5	+ 1,05	43	+ 1,01	—	25

Прокатка балки в стане Грея производится из заготовки грубой двутавровой формы, получаемой в последнем разрезающем калибре блюминга.

Эта грубая двутавровой формы заготовка затем прокатывается в реверсивном четырехвалковом стане Грея при постоянном сближении как горизонтальных, так и вертикальных валков.

Однако боковые поверхности внутренней реборды верхнего и нижнего валков обрабатывают флянцы с разной окружной скоростью, вследствие чего верхние части по высоте флянцев получают несколько тоньше, чем следует. Профиль балки получается недостаточно точным. В настоящее время стан Грея значительно усовершенствован. Балки предварительно прокатываются в двух непрерывно расположенных реверсивных четырехвалковых станах по схеме, представленной на фиг. 156.

В первом подготовительном двуклетьевом стане вырабатывается профиль балки, при чем выходящая из последнего пропуска балка имеет форму двойного играка (фиг. 157). В чистовом стане происходит выпрямление флянцев (фиг. 157).

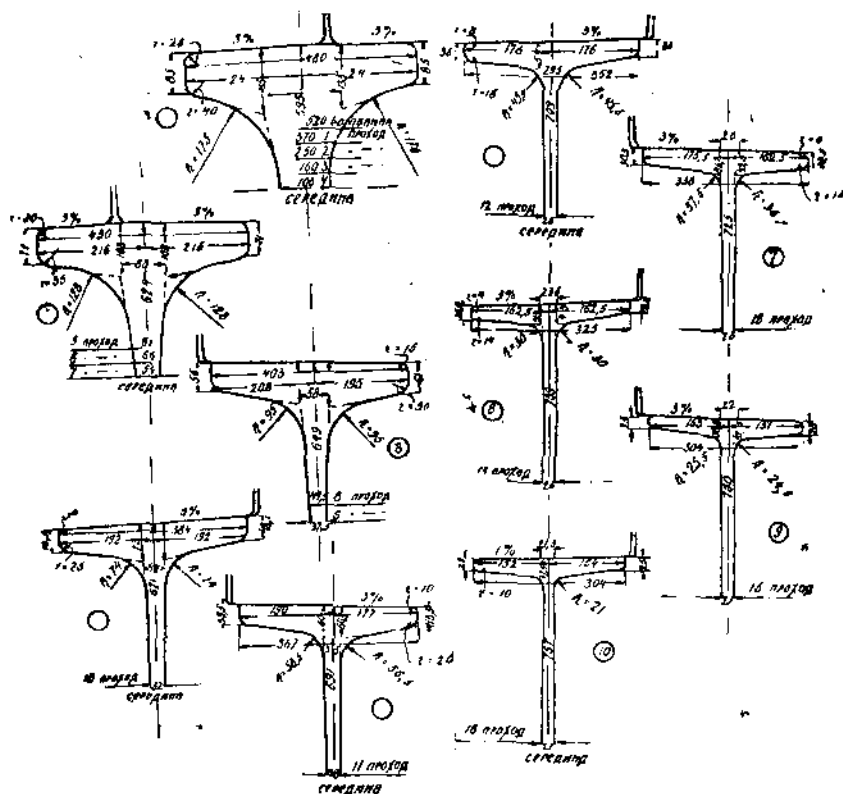
Рассмотрим устройство подготовительного двуклетьевого стана (фиг. 156 и 157).

В первой клетки калибр имеет форму, представленную на фиг. 156.

Наружные валки (а) имеют форму двух усеченных конусов, вложенных широкими основаниями. Уклон образующей равен $11^{\circ} 20'$. Коническая часть реборды верхнего и нижнего валков (е) имеет такой же уклон. Практика установила, что при этом угле уклона происходит равномерная деформация флянцев. Однако для обеспечения хорошей выработки

кромки фланцев в зазоре между валками (при с) при пропуске в данном калибре в фланце образуется утолщение (W) под влиянием давления реборды.

Полученный профиль с утолщением при с (W) передается во вторую клеть с открытым сверху и снизу фланцев калибром (фиг. 157).



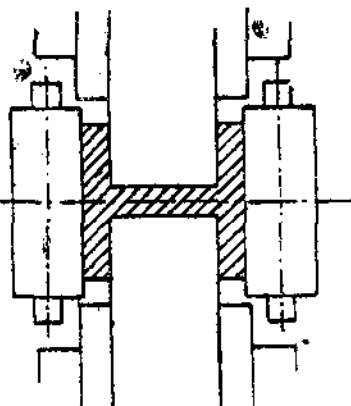
Фиг. 154.

В этом калибре путем соответствующей установки горизонтальных (b) и вертикальных (a) валков производится равномерное обжатие всех

элементов профиля при двух последовательных пропусках вперед и назад (стан реверсивный). Таким образом во 2-ой клетке дается 2-ой и 3-ий пропуск. После этого штука проходит опять 1-ую клетку (фиг. 156 и 157), в которой при прежнем положении валков 1-ой клетки она свободно без деформации передается через калибр в исходное положение при прокатке на среднюю сторону 1-ой клетки. Этот пропуск в холостую 4-ый по счету представлен на фиг. 157 и схеме фиг. 156.

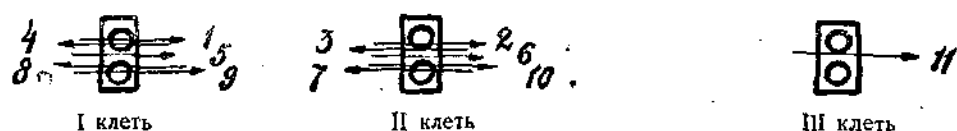
После этого в 1-ой клетке валки a и b сдвигаются на нужную величину и описанный цикл пропусков через 1-ую, 2-ую и вновь 1-ую клетку повторяется, т. е. даются 5-ый, 6-ой—7-ой и 8-ой пропуски, из коих 8-ой пропуск холостой в 1-ой клетке.

Затем повторяется третий цикл: 9-ый, 10-ый, пропуски, после чего штука передается в 3-ую клетку чистовую (фиг. 156 и 157) для последнего 11-го пропуски. Если нужно, число описанных циклов может быть



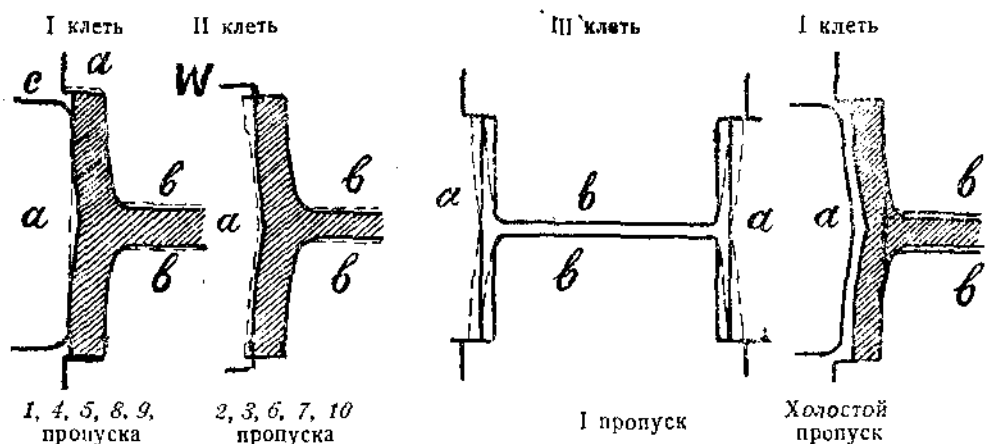
Фиг. 156.

увеличено или уменьшено, после чего прокатка заканчивается, как только что указано, пропуском через чистовую клеть.



Фиг. 156.

Из описанного процесса видно, что образующееся в 1-ой клетке утолщение (W) фланцев всякий раз уничтожается при последних двух пропусках во 2-ой клетке и вновь возникает при рабочем ходе через 1-ую клетку.



Фиг. 157.

По словам Трапнеля производительность описанного стана на 50% выше производительности старого стана Грея. Прокатка заканчивается при более высокой температуре и при полном отсутствии вредных напряжений в профиле.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
--------------------	---

Часть 1

Процесс деформации металла в валках

I.	Анализ действия продольных и вертикальных сил	13
II.	Основные понятия и определения	19
III.	Опережение и попятное движение	27
IV.	Свободное уширение металла	40
V.	Несвободное и вынужденное уширение	57

Часть 2

Калибровка валков

I.	Калибры обжимных станов	71
II.	Размещение калибров в станах дуо и трио	107
III.	Калибровка непрерывных станов	116
IV.	Подготовительные или вытяжные овальные и квадратные калибры	132
V.	Калибровка конечного продукта простейших профилей	138
VI.	Калибровка полосового железа	158
VII.	Калибровка фасонных профилей	168
	Калибровка равнобокого углового железа	172
	" зетового железа	189
	" таврового железа	198
	" двутавровых балок	200
	" швеллерного железа	221
	" рельсов	227
	" прокатка балок Грея	242



Державне Науково-Технічне Видавництво України

Д Н Т В У

ХАРКІВ, ПРОЛЕТАРСЬКИЙ МАЙДАН 7.

ВЫШЛИ ИЗ ПЕЧАТИ:

ВИНОГРАДОВ А. П., проф.

КАЛІБРУВАННЯ ВАЛЬЦІВ

ДНТВУ. 216 стор.

Ціна 3 крб.

ЗМІСТ. Книга ознайомлює з історією розвитку калібрування вальців, підсумовуючи загальні результати та перспективи розвитку в майбутньому.

1. Процес деформації металю у вальцях. 2. Калібрування необрисових профілів. 3. Калібрування безперервних заготовних верстатів. Підготовні або видовжувальні овальні й квадратні калібри. Калібрування обрисових профілів.

Для вищих промкадрів та ВИШ'ів.

ГРИГОРЬЕВ, И. П.

ШКОЛА ПРОКАТЧИКА

ГНТИУ 108 стр.

Цена 3 руб. 50 коп.

СОДЕРЖАНИЕ.

В книжке излагается технологический процесс прокатки и разбираются следующие вопросы: 1. Короткий исторический обзор. 2. Классификация прокатных станов. 3. Фундамент прокатного стана. 4. Прокатный валок. 5. Соединительные устройства прокатных станов. 6. Действие сил при прокатке. 7. Детали станов. 8. Вспомогательные механизмы при прокатных станах. 9. Приспособления для уборки мотков. 10. Вспомогательные механизмы для обслуживания нагревательных печей.

Рассчитана на инженерно-технический персонал и квалифицированных рабочих.

ПРОДАЖ ПО ВСІХ КНИГАРНЯХ КНИГОЗБУТУ ДНТВУ, УКР.
КНИГОЦЕНТРУ та ВУКОПКНИГИ

Замовлення надсилайте: Харків, Пролетарський майдан 7 та
Київ, вул. Свердлова 2/9 Книгозбуту ДНТВУ.



Державне Науково-Технічне Видавництво України

Д Н Т В У

ХАРКІВ, ПРОЛЕТАРСЬКИЙ МАЙДАН, 7.

ПЕЧАТАЕТСЯ:

ПУППЕ.

ПРОКАТНОЕ ДЕЛО

Перевод с нем. ГНТИУ. Т. I. 40 печ. л. Тир. 3.000 экз. Ориент. ц. 14 р.

СОДЕРЖАНИЕ.

Технико-экономические и статические данные о развитии прокатного дела; строение металлов и сплавы; испытание металлов и прокатных изделий; технические условия на сдачу—приемку изделий, себестоимость прокатных изделий; контроль и учет производства, статистика его. Процесс прокатки, конструкция прокатных станков и их расположение.

ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ:

Перевод сделан с немецкого издания 1929 г. Книга составлена при участии свыше тридцати немецких инженеров, крупных специалистов, под редакцией Дг-инж. Пуппе и проф. Штаубера, имена которых хорошо известны в мире прокатчиков.

В настоящее время это наиболее фундаментальный труд по прокатному делу, как по объему и разносторонности материала, так и по содержанию. Собран и обобщен материал весьма необходимый как для практического работника, так и для исследователя и педагога по прокатной специальности.

Книга рассчитана на инженерно-технический персонал.

ПРОДАЖ ПО ВСІХ КНИГАРНЯХ КНИГОЗБУТУ ДНТБУ, УКР.
КНИГОЦЕНТРУ та ВУКОПКНИГИ

Замовлення надсилайте: Харків, Пролетарський майдан, 7 та
Київ, вул. Свердлова 2/9 Книгозбути ДНТБУ.