

Б. М. ИЛЮКОВИЧ

ПРОКАТКА ТАВРОВЫХ
ПРОФИЛЕЙ
В ОТКРЫТЫХ КАЛИБРАХ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛИТЕРАТУРЫ ПО ЧЕРНОЙ И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ
Москва 1961

Г л а в а 1

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

АННОТАЦИЯ

В брошюре изложены элементы прокатки тавровых и других подобных профилей в открытых калибрах со свободным уширением; рассмотрены схемы прокатки, конструирование калибров, настройка стана; приведены примеры расчета калибровки и заводские калибровки тавровых профилей.

Брошюра предназначена для калибровщиков, мастеров и рабочих ведущих профессий прокатного производства, а также может быть использована студентами металлургических вузов.

Сортамент проката содержит большое количество профилеразмеров тавровой стали. Кроме того, имеются некоторые профили специального назначения, которые хотя отличаются по форме от тавровой стали, но не отличаются по схеме прокатки. К таким профилям относятся: тавровая сталь с местными утол-

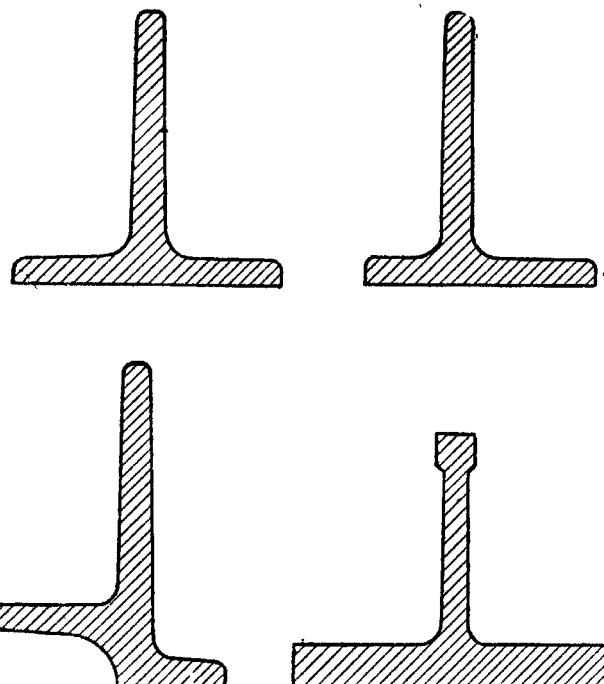


Рис. 1. Виды тавровой стали

щениями стенки и полок; тавровые профили со смещенными полками для оконных переплетов промышленных зданий; крестообразная сталь равного сопротивления или несимметрична относительно какой-либо оси. Некоторые виды тавровой стали представлены на рис. 1.

В строительстве, сельском хозяйстве, железнодорожном транспорте и других отраслях промышленности обычно используются тавровые и подобные им профили мелких и средних размеров. Тавровую сталь больших размеров применяют сравнительно редко. Последняя в металлических конструкциях, в зависимости от необходимого соотношения между высотой стенки и общей шириной полок, заменяется двумя равнобокими или неравнобокими уголками. Применение угловых профилей вместо больших размеров тавровой стали приводит к удорожанию стоимости конструкций, так как усложняются монтажные работы и увеличивается расход металла.

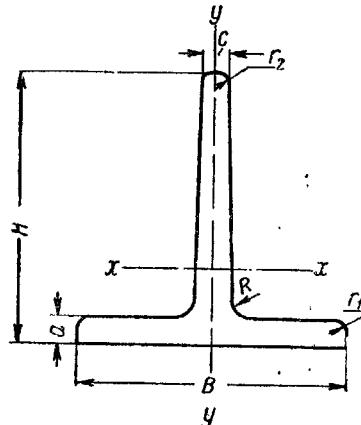


Рис. 2. Профиль тавровой стали

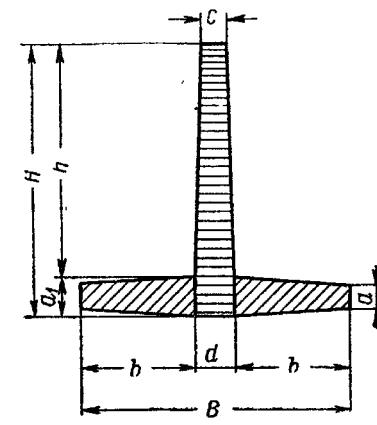


Рис. 3. Деление таврового профиля на элементы

Одним из потребителей тавриков повышенной точности из легированных сталей является авиационная промышленность, предъявляющая более жесткие требования к качеству готового проката.

В зависимости от соотношения между основными размерами различают тавровую сталь с высотой стенки, равной общей ширине полок. Тавровые профили небольших размеров отличаются от тавровых профилей больших размеров следующими особенностями:

1) значительной толщиной стенки и полок по сравнению с размером профиля;

2) величиной отношения высоты стенки к общей ширине полок.

Поперечное сечение тавровой стали обычного типа состоит из ножки (стенки) и подошвы (двух полок) и имеет следующие размеры (рис. 2 и 3):

H — высота профиля (стенки);

B — общая ширина подошвы;

b — ширина каждой полки;
 c — толщина стенки у конца;
 d — толщина стенки у основания;
 a — толщина полок на конце;
 a_1 — толщина полок у основания;
 R — радиус соединения стенки с полками;
 r_2 — радиус закругления конца стенки;
 r_1 — радиус закругления концов полок.

При расчете калибровки целесообразно ввести следующие дополнительные размеры:

$$c_c = \frac{c+d}{2} \quad \text{и} \quad a_c = \frac{a+a_1}{2},$$

где c_c — толщина стенки посередине;

a_c — толщина полок посередине.

Так как тавровую сталь прокатывают преимущественно в соответствии с техническими условиями (единий ГОСТ отсутствует), то соотношения между размерами отдельных частей профиля изменяются в широких пределах (табл. 1).

Таблица 1
Соотношения между размерами отдельных элементов тавровых профилей

Профили	$\frac{H}{B}$	$\frac{c_c}{H}$	$\frac{a_c}{B}$	$\frac{c_c}{a_c}$
Тавровые симметричные	0,33—1,47	0,085—0,64	0,055—0,28	0,66—2,75
То же, несимметричные	0,39—0,75	0,10—0,30	0,08—0,16	0,54—1,1
То же, специальные . .	0,2—0,93	0,14—2,55	0,058—0,4	0,93—5,95
Поясовые с шириной по- лок 56—96 мм	0,23—0,25	0,18—0,22	0,09—0,1	0,47—0,55
Для оконных и фонарных переплетов промышлен- ных зданий	1,0—1,46	0,10—0,12	0,09—0,14	1,24—1,25

Отношение H/B , толщина стенки и полок являются основными факторами при выборе схемы прокатки, исходной заготовки и числа фасонных калибров.

Различие в толщине стенки и полок для данного профиля оказывает большое влияние на образование внутренних напряжений при охлаждении готового проката. При охлаждении тавровой стали с тонкой стенкой и толстыми полками вначале охлаждается стенка. При этом полки профиля претерпевают пластическую деформацию, так как температура их сравнительно высока. При дальнейшем охлаждении уменьшению длины полок препятствуют уже остывшие части. В результате возникают внутренние напряжения — растягивающие в полках и сжимающие

в стенке профиля. Величина этих напряжений может превышать внутренние напряжения вследствие неравномерной деформации и зависит не только от отношения толщин элементов профиля, то также от его формы и соотношения площадей. При охлаждении тавровых профилей с толстой стенкой и тонкими полками растягивающие напряжения возникают в стенке, а сжимающие — в полках профиля. Разнотолщинные тавровые профили при охлаждении изгибаются. Если тавровые профили еще и несимметричны относительно оси стенки, то возможен не только изгиб, но и скручивание их по длине.

При проектировании стальных конструкций наблюдается тенденция к уменьшению толщины стенки и полок тавровой стали с целью экономии металла и облегчения веса сооружений, механизмов и машин. Например, применение новых тавровых профилей с толщиной полок и стенки 3,3 мм, освоенных на Чусовском металлургическом заводе в 1957 г. для фонарных и оконных переплетов промышленных зданий, дает экономию металла до 20% и значительную экономию топлива, так как уменьшаются потери тепла зданиями.

Широкое применение находит симметричная тавровая сталь с закругленными и острыми кромками, разнополочная, разнотолщинная и др. Под руководством сотрудников Института электросварки им. акад. Е. О. Патона АН СССР проводятся опыты по изготовлению широкополочных тонкостенных двутавровых балок путем автоматической сварки двух тавровых поясов с полосовой сталью.

Размеры профиля, радиусы закруглений, уклоны боковых граней полок и стенки должны находиться в пределах допускаемых отклонений, которые зависят от назначения профиля. Иногда предъявляются дополнительные требования по чистоте поверхности, симметричности подошвы относительно стенки и т. д.

При прокатке тавриков процесс неравномерной деформации протекает в сложных скоростных и силовых условиях. Вследствие этого расчет режима обжатий, выбор схемы прокатки, уширения и конструкции калибров при отсутствии надежных теоретических формул весьма затруднителен, особенно при прокатке тавровой стали в открытых калибрах с использованием вынужденного уширения, величина которого зависит от многих факторов, в том числе и технологических.

Задача калибровщика заключается не только в получении профиля, соответствующего ГОСТ или техническим условиям, но и в обеспечении высокой производительности стана, снижении себестоимости готового проката, возможности наиболее полной механизации и автоматизации технологического процесса. При разработке калибровки необходимо учитывать особенности конкретного стана, так как метод прокатки, давший хорошие результаты, например, для стана с линейным расположением клетей, может оказаться совсем не пригодным для непрерывного

стана. В процессе работы стана калибровка должна непрерывно развиваться и совершенствоваться. Большое значение при этом имеет изучение работы калибров и наблюдение за их износом с учетом всех изменений в сортаменте стана. Как правильно указывается отдельными авторами, разработка калибровки является творческим инженерным процессом и не сводится к одному математическому расчету. Научная основа калибровки — это теория прокатки и теория пластической деформации.

Для упрощения расчета калибровки сложные профили обычно разбивают на несколько прямоугольных или близких к ним

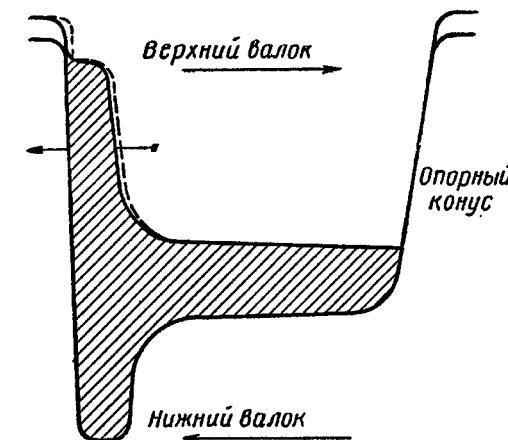


Рис. 4. Схема возникновения осевых усилий в тавровых калибрах балочного типа

сечений, по которым можно контролировать степень деформации отдельной части и примерно представить степень заполнения калибра при прокатке. В настоящее время невозможно определить границы действительного течения металла, меняющиеся в зависимости от условий деформации и конструкции калибров. При изучении течения металла дополнительно усложняют задачу радиусы закруглений в местах соединения стенки и полок таврового профиля. Для определения средней вытяжки в калибрах сложной формы до сих пор не имеется надежных методов, несмотря на большое число работ в этой области. В дальнейшем принята схема деления таврового профиля на элементы, показанная на рис. 3.

Так как по форме тавровая сталь представляет половину двутавровой балки, то прокатка тавровой стали и других подобных профилей длительное время производилась в закрытых калибрах балочного типа. Однако в отличие от двутавровых балок тавровый профиль, имеющий одну ось симметрии, допускает

при прокатке кантовку на 90°. Кроме того, при вертикальном расположении стенки в чистовом калибре полки готового профиля могут быть получены с незначительным уклоном или в случае необходимости совсем без уклона. При этом боковым граням стенки профиля придается уклон 1—2%, обеспечивающий беспрепятственный выход полосы из валков и уменьшающий давление на валковую арматуру. При вертикальном расположении полок в чистовом калибре, что в практике встречается сравнительно редко, можно получать профиль без уклона наружных граней стенки.

В закрытых калибрах балочного типа при прокатке тавровой стали возникают значительные осевые усилия (рис. 4), так как давления со стороны открытой полки приложены к разным валкам, направлены в противоположные стороны и ничем не уравновешиваются. Для компенсации осевых усилий, возрастающих с увеличением обжатия и уменьшением температуры прокатываемых полос, необходимо на валках предусматривать опорные конусы. Иногда на станах старой конструкции в процессе прокатки опорные конусы смазывают для уменьшения их износа.

Г л а в а 2

МЕТОДЫ ПРОКАТКИ ТАВРОВОЙ СТАЛИ

Прокатка в закрытых калибрах

На рис. 5, а представлен один из наиболее распространенных вариантов калибровки, который раньше длительное время применялся в качестве типовой схемы для прокатки тавровых профилей средних и больших размеров, а в настоящее время используется с некоторыми видоизменениями на отдельных заводах. Этот метод имеет существенные недостатки, ограничивающие область его применения. В первых двух калибрах неравномерное обжатие по ширине изгибает полосу в сторону менее обжимаемой части. Величина изгиба зависит от соотношения площадей, имеющих различные коэффициенты вытяжки, и от величины этих коэффициентов. Для обеспечения прямолинейного выхода полосы из валков приходится устанавливать хорошо закрепленные длинные выводные линейки и проводки утяжеленной конструкции, которые все же быстро изнашиваются. Требуется частая настройка, а в отдельных случаях и преждевременная замена валковой арматуры, вызывающая дополнительные простои стана. При выходе из валков задние концы полос искривляются и задача их в последующий калибр затруднительна. Изгиб прокатываемых полос особенно вреден при прокатке больших размеров тавровой стали, когда возникают значительные боковые давления, сопровождающиеся резким искривлением полос, что нежелательно из соображений правил техники безопасности. Для мелкосортных станов с линейным расположением клетей, особенно при отсутствии обводных аппаратов, влияние изгиба незначительно и в большинстве случаев может не приниматься во внимание. Для предотвращения изгиба полос на мелкосортных станах устанавливают двойные выводные линейки, а для устранения их смещения закладывают металлическую распорку между крайней линейкой и стойкой станины рабочей клети. При этом повышается износ линеек. На непрерывных станах изгиб и искривление полос недопустимы.

В третьем калибре рассматриваемой схемы с вертикальным расположением стенки предусматривается утонение полок и разгон их ширины вследствие вынужденного уширения. Кроме того, в этом калибре контролируется размер стенки по высоте.

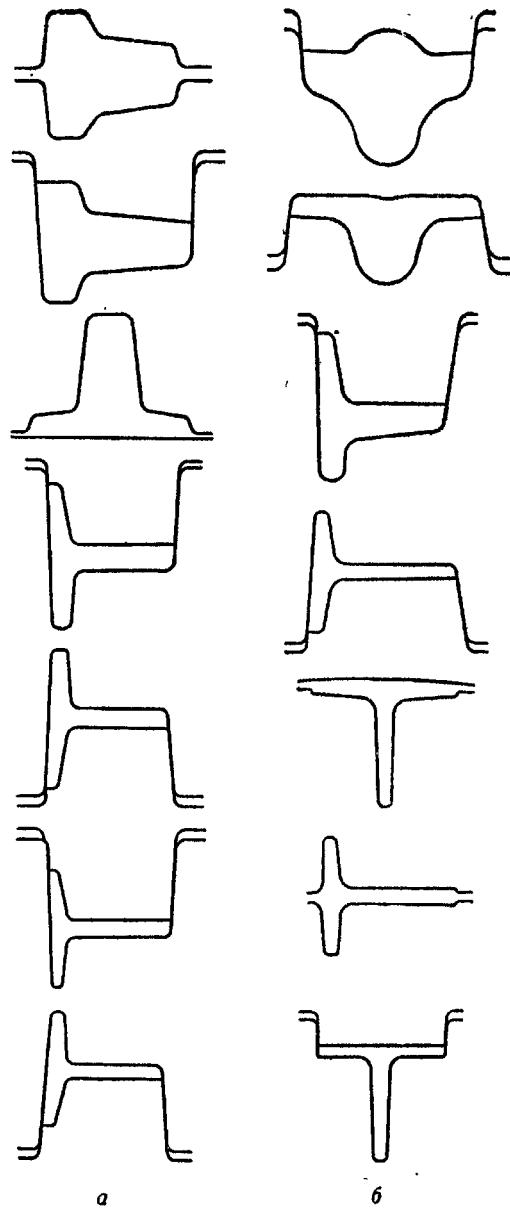


Рис. 5. Схема прокатки тавровой стали в закрытых калибрах

Остальные калибры, включая чистовой, работают подобно балочным и при разработке калибровки с некоторыми ограничениями может быть использован метод расчета Б. П. Бахтинова [1]. Однако метод Б. П. Бахтинова имеет некоторые недостатки и применяется редко. Обычно используются опытные зависимости для построения калибров, определения утяжки и приращений полок. Боковые обжатия полок в закрытых частях калибров выбираются минимальными или отсутствуют совсем, особенно в предчистовых и чистовых калибрах. Только в редких случаях обжатия достигают существенной величины. Чтобы получить необходимую высоту (по ГОСТ ширину) полок, принимают повышенную их утяжку. Соответственно увеличивают и высоту исходной заготовки.

При рассмотрении процесса деформации в калибрах балочного типа, как уже указывалось во многих исследованиях, условия деформации отдельных элементов профиля в начальный и конечный периоды различны. Разновременность деформации ведет к неравномерности ее по длине очага деформации, сопровождающейся перетеканием металла и возникновением внутренних напряжений, причем последние могут суммироваться с напряжениями, возникающими при охлаждении металла на холодильнике. Перетекание металла обусловливается разновременностью деформации и происходит как в закрытых, так и в открытых тавровых калибрах.

Применяемые на некоторых заводах (ММК, КМК, НТМК, Чусовской металлургический завод и др.) балочные калибры без изгиба или с изгибом стенки и повышенным уклоном наружных граней фланцев (открытых до 20—22%, закрытых до 5—8%) смещают деформацию фланцев к концу очага деформации, существенно облегчают условия работы калибров и увеличивают их стойкость. При этом уменьшается расход валков, и возрастает число переточек их, в процессе которых, как правило, полностью восстанавливается ширина калибров. Следует отметить, что и ранее для тавровых калибров балочного типа рекомендовалось применять уклон наружных граней открытых полок до 14—17,6%.

При прокатке тавровой стали в балочных калибрах по мере износа опорных конусов толщина открытой полки (см. рис. 4) постепенно возрастает, вследствие чего непрерывно увеличивается обжатие полки по толщине в закрытой части следующего калибра по ходу прокатки. Проволакивание со значительным обжатием вызывает заклинивание и перемещение металла из закрытой полки в открытую. Заклинивание часто сопровождается оковыванием и поломками прокатных валков. Быстро изнашивается и выходит из строя валковая арматура, особенно при прокатке тонкостенных профилей. В месте соединения элементов профиля из-за смещения основания стенки образуются закаты, которые могут быть незаметными и в ряде случаев обнаружи-

ваются на образцах готового проката только после глубокого травления. Поэтому в калибровках тавровых профилей по балочному методу принцип равномерной деформации не нашел применения и толщина открытых полок предусматривается меньше толщины последующих закрытых. Так как износ валков в местах открытых полок большой, то толщина полок постепенно возрастает по мере износа валков и опорных конусов.

Для подгонки опорных конусов валков можно рекомендовать следующий способ, применяемый на некоторых заводах. Вначале на новом комплекте валков окончательно вытачивают только ручьи одного валка, а другого — вчерне. Опорные конусы тщательно подгоняются, просвет во всех конусах должен быть одинаковым и по возможности минимальным. Затем валки устанавливают в рабочей клети и притирают опорные конусы путем прижатия валков при их вращении вхолостую. После этого производят окончательную отделку калибров на вальцетокарных станках. Этот способ используется в тех случаях, когда на прокатном стане клети работают периодически, что часто встречается на мелкосортных станах типа переменное дуо, прокатывающих некоторые профили за разное число проходов. На притирание конусов новых валков затрачивается время, которое, однако, не влияет на производительность стана. В практике отечественных заводов конусы притирают на валках для прокатки различных видов бортовых профилей, предназначенных для автомобильного строения.

При расположении калибров на валках кроме опорных конусов много места вследствие глубоких врезов занимают промежуточные бурты, что сокращает общее число калибров.

Ввиду того, что тавровый профиль в отличие от балки допускает кантовку на 90°, метод калибровки (см. рис. 5, а) может быть несколько изменен с применением ребровых калибров. Последнее обеспечивает получение готового профиля без уклона внутренних граней полок. Иногда при прокатке тавриков с длинными и тонкими полками предусматривают ребровые калибры не только в начале и конце прокатки, но и в середине (рис. 5, б). В качестве первого калибра применяется ребровой калибр, так называемого колокольного типа, в который задается по диагонали заготовка квадратного сечения, а иногда ромбического или овального. Общее число ребровых калибров зависит от толщины и ширины полок: чем тоньше полки и больше отношение их ширины к высоте стенки, тем больше требуется ребровых калибров. Однако имеющимся балочным калибрам в данной схеме присущи отмеченные выше недостатки.

Таким образом, способ прокатки тавровой стали в балочных калибрах следует признать устаревшим и не соответствующим современному уровню прокатного производства. В то же время некоторые варианты этого способа с применением ребровых калибров можно использовать, в первую очередь для тавровой

стали, получить которую в открытых калибрах не представляется возможным по условиям прокатки. В общем случае балочные калибры следует по возможности предусматривать для первых проходов, при которых температура полос высокая. Кроме того, в черновых проходах массивная выводная арматура предохраняет полосы от заклинивания в закрытых частях калибров.

Прокатка в открытых калибрах

В нашей стране прокатка тавровой стали в открытых калибрах освоена на различных металлургических заводах (Гурьевском, «Серп и молот», им. Ф. Э. Дзержинского и др.). Затем этот метод прокатки был распространен на сложные фасонные профили, подобные по форме тавровой стали, например тонкостенный специальный профиль № 2 для оконных и фонарных переплетов промышленных зданий, прокатываемый на Чусовском металлургическом заводе.

Прокатка в открытых калибрах по сравнению с прокаткой в калибрах балочного типа имеет следующие преимущества:

1. Большие коэффициенты деформации вследствие меньшей глубины вреза и простой формы калибров. Применение повышенных коэффициентов деформации позволяет в случае необходимости сократить число фасонных калибров и общее число проходов, что благоприятно отражается на работе прокатного стана. Уменьшается количество валковой арматуры, изготовление которой весьма трудоемко. Конструкция валковой арматуры упрощается, особенно для калибров с горизонтальным расположением стенки профиля; в этом случае иногда возможно ограничиться плоскими выводными проводками. При сокращении числа фасонных калибров возможна более полная механизация и автоматизация процесса прокатки (применение обводных аппаратов, кантующих муфт и др.).

При выборе схемы прокатки и коэффициентов деформации необходимо принимать во внимание все факторы, определяющие ритмичную и нормальную работу стана. В практике часто наблюдается, особенно для тонкостенной тавровой стали, что увеличение числа фасонных калибров не снижает производительности стана, а уменьшает износ валков, сокращает число перевалок и облегчает настройку стана.

2. В ребровых калибрах (с вертикальным расположением стенки) совершенно отсутствуют осевые усилия при прокатке, в результате чего заметно сокращаются затраты времени на настройку стана и нет необходимости в опорных конусах.

В пластовых калибрах (с горизонтальным расположением стенки) вследствие некоторого уклона полоса при выходе из валков стремится изогнуться в сторону полок, но изгибу препятствует выводная арматура и при этом оба валка смещаются в одном направлении. Однако это усилие (значительное в чер-

новых калибрах) настолько мало, что при достаточно хорошо закрепленной арматуре может не учитываться. В то же время смещение полосы в пластовых предчистовых калибрах может привести (см. ниже) к дефектам на готовом профиле.

На одинаковой длине бочки валков размещается большее число открытых калибров. Кроме того, уменьшается исходный диаметр отливки валков, так как открытые калибры не имеют большого диаметра по бортам.

3. Сокращается расход энергии, что объясняется отсутствием трения о боковые стенки калибра и меньшим удельным давлением. Переход на прокатку в открытых калибрах даже тонкостенных профилей не вызывает перегрузки электродвигателей главного привода и не требует их замены.

4. Уменьшается расход прокатных валков вследствие более рационального размещения калибров и повышения их стойкости.

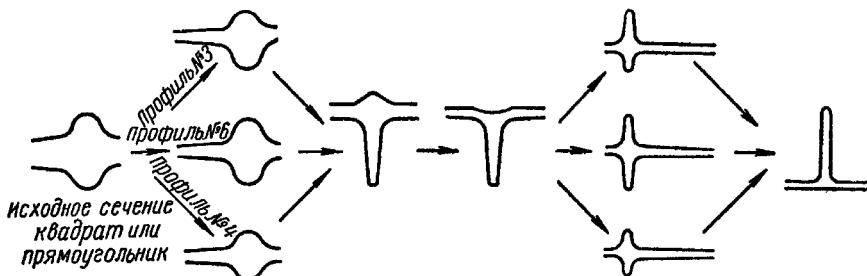


Рис. 6. Универсальная схема прокатки тонкостенных профилей № 3, 4 и 6 для оконных и фонарных переплетов промышленных зданий

сти, что с учетом сокращения перевалок обеспечивает рост производительности стана.

Упрощается обточка валков, удешевляется стоимость передела в вальцетокарной мастерской и сокращается общий парк валков. Так как устраняется опасность образования заусенцев, а следовательно, и закатов, то уменьшается количество брака и вторых сортов.

5. Одни и те же калибры могут быть использованы для прокатки ряда профилей смежных размеров. На рис. 6 показана схема прокатки нескольких профилей на мелкосортном стане 250 с расположением клетей в три линии. Тонкостенные профили № 3, 4 и 6 имеют одинаковые высоту стенки 35 мм и радиусы закруглений (внутренний 3 мм, стенки и полок 1,5 мм; остальные размеры приведены в табл. 2). У профиля № 3 подошва смещена относительно стенки и ширина длинной полки от оси стенки равна 18 мм, а короткой — 12 мм. Уклон граней стенки всех профилей равен 2% в соответствии с ГОСТ 7511—58, что предопределяет ребровое расположение чистового калибра.

Постоянные размеры (толщина и высота стенки, толщина полок) этих профилей позволили предусмотреть общие калибры передачи второй, третьей и пятой чистовой клетей. Калибры первой и предчистовой клетей различны для каждого профиля, отличаясь в основном только шириной полок. Принятая универсальная схема прокатки тавровых переплетов сокращает парк валков, их расточку и затраты времени на перевалки при переходе с профиля на профиль. В некоторых случаях калибровка тавровой стали в открытых калибрах со свободным уширением допускает прокатку на одних и тех же валках профилей весьма различной формы. Например, на валках чистовой клети возможна прокатка полосовой стали, что особенно важно для прокатных станов со сложным сортаментом разнообразных фасонных профилей. При этом всегда должны быть учтены особенности каждого стана, иначе универсальность схем прокатки может усложнить работу обслуживающего персонала и отрицательно скажется на качественных показателях работы стана.

6. Если в калибрах балочного типа по мере износа опорных конусов и валков толщина открытых полок увеличивается, а регулировка их почти невозможна, то в открытых калибрах со свободным уширением толщина стенки в пластовых и полок в ребровых калибрах легко регулируется путем изменения зазора между валками. Опасность защемления полос хотя и имеется, но может быть существенно и даже полностью ограничена соответствующим контролем обслуживающего персонала за состоянием подшипников, установкой и износом прокатных валков и пр.

Размеры полос при прокатке незначительно меняются. При расчете калибровки ошибки в величинах обжатий, утяжки и вынужденного уширения частично устраняются настройкой стана, что облегчает освоение новых тавровых и им подобных профилей сложной формы.

Прокатка в калибрах со свободным уширением по сравнению с прокаткой в калибрах со стесненным уширением имеет следующие недостатки:

1. В открытых черновых калибрах возможно свертывание полос.
2. Отсутствие давления со стороны боковых граней полок в ребровых и стенки в пластовых калибрах затрудняет выполнение

Таблица 2
Размеры профилей для оконных и фонарных переплетов промышленных зданий

№ профилей	Размеры, мм	
	общая ширина полок	толщина стенки и полок
3	30	3,3
4	24	3,3
6	35	3,3

нение готового профиля. В некоторых случаях выполнение углов достигается только прокаткой со стесненным уширением.

3. В открытых калибрах на боковых гранях полосы при недоброкачественном металле не исключено образование трещин и рванин.

4. В ребровых калибрах, обеспечивающих интенсивное утонение полок профиля, возможны защемление стенки и случаи оковывания валков.

5. Необходимость в периодических кантовках полосы.

Анализируя недостатки прокатки в открытых калибрах со свободным уширением, можно отметить, что большинство из них при современном уровне развития сталеплавильного и прокатного производства утратило свое значение. Постоянное улучшение качества стали уменьшает опасность образования рванин и трещин на свободно уширяющихся боковых поверхностях прокатываемого профиля. Кроме того, при чередовании кантовок полос через один или через два прохода трещины при их образовании попадают на стенку последующего калибра и полностью завариваются. Периодические кантовки на современных станах не вызывают трудностей и не требуют ручного труда, а применение манипуляторов обеспечивает точное направление полос в калибры.

Жесткие требования к выполнению углов прокатываемых тавровых профилей предъявляются очень редко. Тем более, углы тех частей профиля, которые располагаются в закрытом ручье чистового калибра, легко получить любой формы.

Форма боковых поверхностей полок, уширяющихся свободно в чистовом калибре, определяется предчистовым калибром, где они обрабатываются в закрытых ручьях, и при незначительных коэффициентах деформации в чистовом калибре очертание этих поверхностей может быть достаточно определенным.

Защемления полос в ребровых калибрах можно избежать, если не применять бокового обжатия стенки, а обжимать ее только по высоте.

В дальнейшем при изложении всех вопросов, связанных с калибровкой и прокаткой тавровой стали, рассматривается только метод прокатки в открытых калибрах со свободным уширением.

Г л а в а 3

ВЫБОР ИСХОДНОЙ ЗАГОТОВКИ И ЧИСЛА ПРОХОДОВ

Сечение заготовки, задаваемое в первый профильный калибр, может быть прямоугольным, квадратным, ромбическим или овальным.

Выбор сечения заготовки производится с учетом всего сортамента прокатного стана, степени его механизации и автоматизации и возможно меньшего числа перевалок при переходе на другой профиль.

Основными факторами, определяющими форму и размеры исходного сечения, являются размеры готового профиля и их соотношения. Точный расчет заполнения первого фасонного калибра в настоящее время невыполним, поэтому приходится пользоваться опытными зависимостями, обеспечивающими только первое приближение условий заполнения калибра. В качестве исходной заготовки необходимо предусматривать такое сечение, которое допускает по мере настройки стана регулировку его размеров в широких пределах. Таким требованиям отвечают прямоугольное, квадратное, ромбическое и овальное сечения заготовок или их некоторые разновидности (например, грушевидный овал).

Форма исходного сечения заготовки находится исходя из следующих основных положений. Тавровая сталь малых размеров при отношении длины стенки к общей ширине полок более 1,4—1,5 прокатывается из прямоугольной заготовки, задаваемой плашмя в первый профильный калибр. При этом ширина полок соответствует толщине полосы, т. е. наименьшему размеру исходного сечения. Прямоугольную заготовку желательно прокатывать по схеме: гладкая бочка — ребро — гладкая бочка или квадрат — гладкая бочка. Такая схема позволяет при настройке стана легко менять размеры полосы и улучшает качественные показатели работы стана. Иногда целесообразно проектировать первые два профильных калибра подобными по форме и заменять исходное прямоугольное сечение заготовки на квадратное.

Для мелких тавриков с высотой стенки, незначительно отличающейся от общей ширины полок, применяется квадратное сечение, задаваемое плашмя или на диагональ в первый фасонный калибр. Задача квадрата на диагональ обеспечивает получение профиля с длинной стенкой и широкими полками, сокращая число фасонных калибров. Однако последующее обжатие

толщины стенки у основания в ребровых калибрах нежелательно и обычно даже недопустимо, особенно для тонкостенных профилей.

Толстостенная тавровая сталь небольших размеров может прокатываться с учетом местных условий из ромба или овала применение которых в качестве исходной заготовки имеет существенные недостатки. Для тавровой стали средних и крупных размеров применяются следующие исходные сечения:

1. Квадрат и прямоугольник, задаваемые плашмя в первый фасонный калибр грушевидной формы.

2. Ромб с отношением диагоналей 1,1—1,3 или квадрат. В этом случае заготовку задают в первый калибр колокольного типа только по диагонали.

3. Ромб, овал или квадрат, задаваемые плашмя в симметричный относительно обеих осей пластовый калибр (рис. 7). Такая схема, обусловленная спецификой работы некоторых станов, не получила на практике широкого распространения.

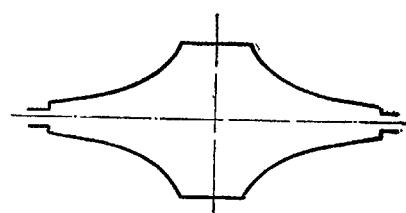


Рис. 7. Симметричный относительно обеих осей первый фасонный калибр

моугольником или вытянутым овалом. По такому методу прокатывают тавровую сталь с повышенной шириной полок.

При выборе формы сечения исходной заготовки возможны некоторые отклонения от приведенных соотношений применительно к условиям работы каждого стана.

Тавровая сталь на мелкосортных станах должна прокатываться за 4—6 проходов, причем большее число проходов соответствует облегченным широкополочным профилям с длинной стенкой. Для тавровой стали средних и крупных размеров число проходов увеличивается до 6—7, что вполне обеспечивает нормальную работу стана. При прокатке тонкостенных тавровых профилей специального назначения из легированной стали с жесткими допусками приходится применять до 9 фасонных калибров. Быстрое падение температуры при прокатке по мере утонения полок и стенки обуславливает применение максимальных обжатий в первых проходах, коэффициенты вытяжки при этом иногда достигают значительной величины (более 2). Колебания размеров полосы в первых калибрах вследствие больших вытяжек следует выравнивать в последних проходах, применяя

малые обжатия и обеспечивая необходимую точность готового профиля.

Небольшое число проходов при разработке калибровки не является самоцелью. Наоборот, если это возможно по условиям производительности стана и другим показателям, то целесообразно прибавить число фасонных калибров, чтобы добиться нормальной работы стана. Кроме того, открытые профильные калибры для первых проходов не нуждаются в увеличенных диаметрах валков и их стойкость мало отличается от стойкости простых вытяжных калибров.

Глава 4

ТИПОВЫЕ СХЕМЫ ПРОКАТКИ ТАВРОВОЙ СТАЛИ

Прокатка тавровых профилей в зависимости от размеров, формы и марки стали осуществляется по-разному. На основании опыта работы отечественных прокатных станов из всего многообразия калибровок могут быть рекомендованы следующие типовые схемы прокатки тавровой стали со свободным уширением (рис. 8).

Схема I предназначается для прокатки тавровой стали небольших размеров с толщиной стенки и полок 5—7 мм. Профили прокатываются за четыре прохода, из которых первые два в ребровых калибрах. Исходный квадрат в первый колокольный калибр задается по диагонали. На верхнем валке в первом фасонном калибре имеется углубление для устойчивости полосы при прокатке и получения вынужденного уширения в последующем калибре. Кроме того, углубление способствует заполнению стенки во втором калибре. Ширина полок регулируется изменением размеров исходной заготовки. Однако при этом возрастает боковое обжатие стенки в закрытой части колокольного калибра, что обычно недопустимо. Наиболее рациональным и, как правило, применяемым в практике настройки стана способом является получение нужной ширины полок профиля изменением обжатия полок по толщине во втором калибре, где заранее предусматривается при неравномерной деформации вынужденное уширение полок. Если при этом достигается необходимая ширина полок, то не следует увеличивать размеры квадрата более тех, которые достаточны для устойчивого заполнения стенки. Из ребрового калибра полоса поступает после кантовки на 90° в пластовый калибр (чистовой) для контроля толщины стенки и ширины полок. В чистовом ребровом калибре стенка врезана в верхний валок.

Схема II. Для прокатки тонкостенной тавровой стали с высотой стенки 30—60 мм и шириной полок 30—40 мм применяется калибровка за шесть проходов. По этой схеме прокатываются таврики с толщиной стенки и полок от 3 до 4 мм. В качестве исходного сечения оказывается целесообразным прямоугольник или квадрат, задаваемые плашмя в первый профильный калибр, и применение которых зависит от соотношения размеров готового профиля. Тавровую сталь с малой шириной полок и длиной

стенкой прокатывают из прямоугольника, а при примерно равных размерах по ширине и высоте профиля лучше использовать квадрат.

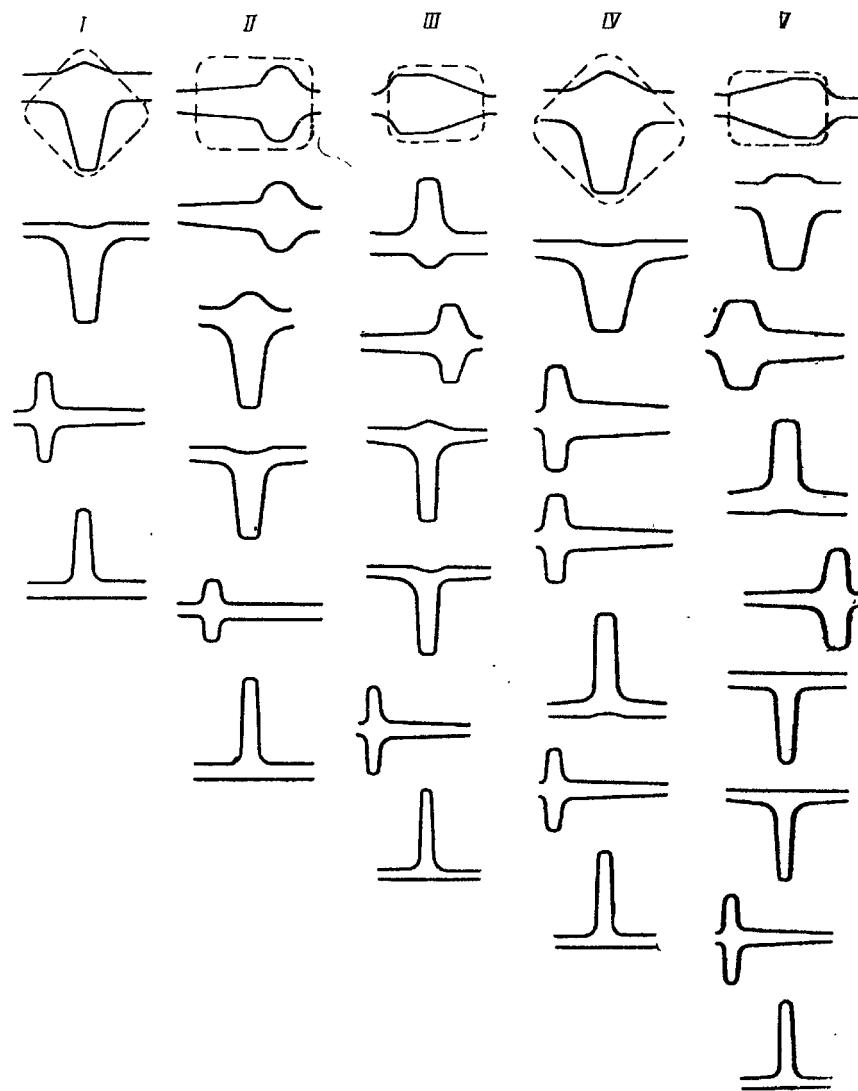


Рис. 8. Типовые схемы прокатки тавровой стали в открытых калибрах со свободным уширением

В первых пластовых калибрах, кроме обжатия стенки, происходит первоначальное формирование полок профиля. Углубления в валках при их большой глубине трудно заполняются и поэтому при значительной ширине полок приходится предусматривать в первом и втором пластовых калибрах большую толщину

полок и сокращать тем самым утяжку полок в связи с увеличением их площади. Затем ширина полок достигается вследствие вынужденного уширения в третьем и четвертом калибрах ребрового типа. Регулировка величины обжатия полок, а соответственно и величины вынужденного уширения в ребровых калибрах, трудностей не представляет и осуществляется в процессе настройки стана. Чтобы устранить серпение полосы в первых пластовых калибрах, как следствие неравномерной деформации по ширине предусматривается с правой стороны калибра повышенное обжатие и установка длинных выводных линеек. Такая форма калибров дополнительно способствует заполнению стенки по высоте в последующем ребровом калибре.

Схема III. Эта схема состоит из семи фасонных калибров и является дальнейшим развитием предыдущей. Она применяется в тех случаях, когда по схеме II при прокатке широкополочных тавриков не обеспечивается заполнение первых пластовых калибров и не может быть получена требуемая ширина полок. По схеме III прокатывается тавровая сталь следующих размеров, мм:

Высота стенки	40—60
Толщина стенки	3—6
Ширина полок	40—65
Толщина полок	3—8

Указанная ширина полок является общей шириной подошвы. Первоначально на одном из заводов первый калибр имел форму овала. Захват в последующем ребровом калибре осуществлялся с трудом, так как поверхность соприкосновения полосы с валками крайне мала. Затем применили грушевидную форму первого калибра, обеспечивающую хороший захват, но приводящую к закату на наружной поверхности полок в ребровом калибре. В результате исследования было обнаружено, что при задаче квадратной или прямоугольной заготовки в грушевидный овал наиболее обжималась часть полосы, соответствующая тонкой части грушевидного овала. В разъеме валков со стороны менее обжимаемой части получалось переполнение металла — заусенец толщиной 5—7 мм, который быстро охлаждался и вдавливался в следующем калибре как инородное тело. После травления темплетов закат имел вид ленты; на готовом профиле после большой вытяжки закат не обнаруживался. При холодной правке закаты вскрывались и образовывали продольные трещины.

Для предотвращения заката приняли новую форму первого калибра. Правильное заполнение калибра обеспечивается выпуклой формой ручьев с правой стороны. Переполнения при этом не происходит, а условия захвата улучшаются. Выпуклая форма боковой поверхности калибра благоприятствует заполнению стенки в последующем ребровом калибре. В этом калибре можно прокатывать тавровую сталь различных размеров при изменениях расстояния между валками и сечения исходной заготовки.

Недостатком является клиновидная форма первого фасонного калибра и то, что полоса при выходе из валков «серпит», изгибаясь в сторону менее обжимаемой части. Поскольку искривление полосы для средних и крупных профилей полностью не устраивается даже при длинных выводных линейках, так как площадь сечения раската велика, то возможно по длине полосы смещение полок относительно стенки, вызывающее разную ширину полок на одной и той же полосе в ребровых калибрах. Для выравнивания ширины полок большое значение имеет конструкция последующих ребровых калибров.

Схема IV принимается для крупных размеров тавровой стали с высотой стенки 70—250 мм и общей шириной полок 70—200 мм и более. Толщина полок и стенки профиля изменяется в пределах 6—20 мм. Схема прокатки может быть использована и для более крупных размеров тавровых профилей с высотой стенки и общей шириной полок до 350—400 мм. При этом, возможно, придется увеличить число фасонных калибров в зависимости от размеров профиля и соотношения между ними.

Форма исходной заготовки, задаваемой по диагонали в первый профильный калибр колокольного типа, зависит от соотношения основных размеров готового профиля. Тавровая сталь с высотой стенки, равной общей ширине полок, прокатывается из правильного квадрата. Для профиля с широкими полками целесообразно и выгоднее использовать ромбический квадрат, большая диагональ которого будет соответствовать полкам тавровой стали.

Практически сторона исходного квадрата, задаваемого на диагональ в колокольный калибр, равна или несколько больше максимального размера готового профиля тавровой стали. Например, для таврика 75 × 75 × 8 мм при прокатке по схеме IV применяется исходный квадрат со стороной 76—79 мм.

Иногда при прокатке тавриков с длинной стенкой применяют в качестве исходной заготовки сечение, напоминающее по форме ромб с утолщением посередине (см. рис. 7). В случае каких-либо неточностей при расчете или изменения условий заполнения, например, вследствие износа, размеры квадрата могут регулироваться. В этом отношении яичные калибры несколько затруд-

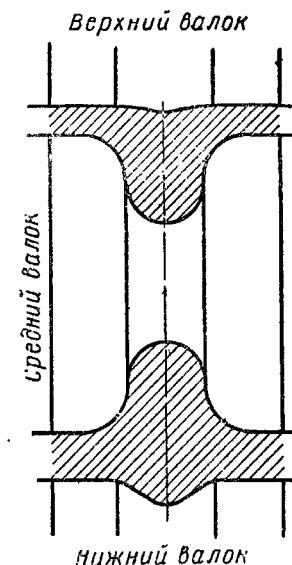


Рис. 9. Расположение спаренных тавровых калибров на валках клетей трио

няют регулировку, так как при изменении расстояния между валками исходное сечение получает форму прямоугольника.

По схеме IV первые два ребровых калибра обеспечивают разгон полок до требуемой величины. В этих калибрах вследствие неравномерной деформации возможно получать различное вынужденное уширение полок.

В клетях трио ребровые калибра целесообразно проектировать сопряженными (рис. 9) с повышенным углублением на открытом валке первого калибра, чтобы иметь достаточный запас металла для заполнения стенки во втором ребровом калибре.

Последующие пластовые калибы предназначены для увеличения длины стенки, что достигается заранее предусмотренным вынужденным уширением. Обжатие стенки доходит до двухкратного, и поэтому возможно, за исключением тонкостенных про-

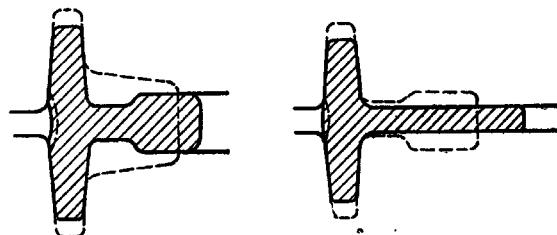


Рис. 10. Применение разрезного калибра при прокатке тавровой стали с высокой стенкой

филей, проектировать в ребровых калибрах повышенную толщину стенки, предотвращая в них защемление полос.

При необходимости получить тавровую сталь с длинной стенкой пластовые калибы проектируют разрезными (рис. 10), что позволяет резко увеличить вынужденное уширение стенки и обеспечить требуемые размеры полосы.

Преимуществом схемы IV по сравнению со схемой III является сокращение числа кантовок при прокатке. Схема IV применяется не для всего сортамента тавровой стали крупных размеров и в некоторых случаях становится неприемлемой. На практике область ее применения ограничивается тавrikами с отношением общей ширины полок к длине стенки более 0,6. Тавровые профили с длинной стенкой и небольшой шириной полок прокатываются по схеме III или V.

Схема V. При прокатке тавровых профилей средних размеров, а иногда и крупных из легированной стали на станах с линейным расположением клетей число фасонных калибров доходит до 9. Исходной заготовкой по схеме V является прямоугольник или квадрат. При пяти ребровых и четырех пластовых калибрах максимальные обжатия осуществляются в первых проходах при высокой температуре прокатываемых полос. Такое распределение обжатий позволяет получать тонкостенную тав-

ровую сталь высокой точности. В чистовых и предчистовых калибрах отсутствует резко выраженная неравномерная деформация и расчетные данные калибровки вследствие малой величины вынужденного уширения становятся более точными и часто совпадают с фактическими размерами. При изменении условий прокатки (температура, износ валков) колебания размеров полос сравнительно небольшие, а чередование ребровых и пластовых калибров не вызывает трудностей в контроле размеров стенки и полок профиля. Недостатком метода является большое число фасонных калибров, а следовательно, увеличение общего числа проходов. При этом возрастает объем работы вальцетокарной мастерской (обточка валков, изготовление шаблонов и резцов), усложняется настройка стана в процессе прокатки и требуется различная валковая арматура, особенно для профилей сложной формы. Необходимые при прокатке семь кантовок увеличивают процент ручного труда обслуживающего персонала на линейных станах старой конструкции, где не имеется кантователей.

Изучение опыта работы прокатных станов различных заводов показывает, что наиболее рациональной следует считать калибровку тавровых профилей по схемам II, III и IV. При разработке калибровки возможны и некоторые отклонения от рассматриваемых схем. Методы прокатки тавровой стали с острыми углами совершенно аналогичны рассмотренным выше. Закругления устраняются в последнем проходе, тогда как в предчистовом калибре они значительно уменьшены.

Г л а в а 5

ПРОКАТКА ПРОФИЛЕЙ, ПОДОБНЫХ ТАВРОВОЙ СТАЛИ

На рис. 11 представлены некоторые профили, подобные по форме тавровой стали, которые могут прокатываться по тем же схемам в открытых калибрах со свободным уширением. Для тавровых профилей с различной шириной полок (рис. 11, *a*) применяются два метода прокатки:

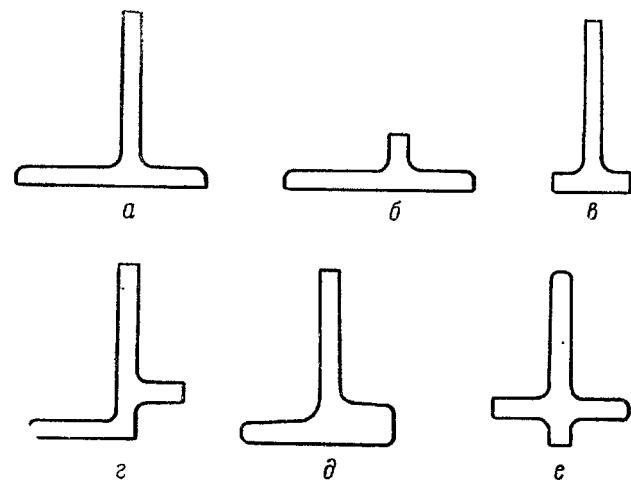


Рис. 11. Некоторые профили, прокатываемые по схемам обычной тавровой стали

1. Первый фасонный калибр имеет одинаковые по ширине полки. Меньшая полка получается при обжатии ее в пластовых калибрах.

2. Полки первого калибра различны по ширине. Но и в этом случае рекомендуется большее обжатие малой полки в последующих калибрах, где осуществляется контроль ширины полок.

Таврики с очень укороченной стенкой (рис. 11, *b*) и с полками малой ширины прокатываются из прямоугольной исходной заготовки с чередующимися ребровыми и пластовыми калибра-

ми. Первый калибр должен быть ребровым для тавриков с короткой стенкой и пластовым для профилей с длинной стенкой и короткими полками. Кроме того, для тавровой стали с широкими полками и малой длиной стенки в качестве исходного сечения часто используется ромб или овал.

Для специальных профилей со смещенными полками различной или одинаковой ширины (рис. 11, *c*) необходимо сохранять это смещение во всех чёрновых калибрах и прокатывать их из квадратной или прямоугольной заготовки, задаваемой плашмя в первый фасонный калибр пластового типа.

Тавровая сталь с различной толщиной полок (рис. 11, *d*) может быть получена по одной из схем, показанных на рис. 8. В первых фасонных калибрах производится формирование полок с учетом того, чтобы в последующих калибрах ребрового типа коэффициенты деформации обеих полок были равными. Более того, принимая во внимание изменение температуры и другие факторы, для тонкой полки желательно иметь несколько большие вытяжки. Такое распределение обжатий, предотвращая скручивание в последних по ходу прокатки калибрах, не оказывается отрицательно на технологическом процессе. В условия работы пластовых калибров неодинаковая толщина полок не вносит по существу никаких изменений.

Если три ветви профиля образуют углы по 120° , то для всех проходов проектируют ребровые калибры, причем две ветви всегда в открытых калибрах, а одну — в закрытом. В следующем проходе производится кантовка и чередование открытых и закрытых калибров. Подобным же образом целесообразно прокатывать профиль тракторной шпоры, придавая окончательную форму в чистовом калибре.

Крестообразные несимметричные (рис. 11, *e*) и симметричные профили прокатываются с попарным чередованием ребровых и пластовых калибров. С учетом особенностей работы отдельных станов и в зависимости от размеров элементов профиля возможно, а иногда и необходимо, некоторое видоизменение схем прокатки для крестообразной стали, а также и для других профилей, когда, например, два ребровых калибра располагаются один за другим. Для симметричной крестообразной стали или при небольшой асимметричности нет разницы между ребровыми и пластовыми калибрами, которые по существу имеют подобную форму.

При разработке калибровки не следует предусматривать более двух одинаковых калибров один за другим, так как на боковых гранях поверхностей свободно уширящихся частей профиля могут образоваться неустранимые рванины или трещины, приводящие к браку на готовом профиле. Поэтому наиболее целесообразной оказывается кантовка полосы после каждого прохода, хотя, как указывалось выше, допускается при хорошем

качестве прокатываемых профилей кантовка через два прохода на третьем или даже через три на четвертом (последнюю по возможности не следует применять).

Ограничиваясь приведенными примерами, необходимо заметить, что для разнообразных профилей, по форме подобных тавровой стали, также рационально применять метод прокатки в открытых калибрах со свободным уширением. Расширение сортамента этих профилей хотя и требует известного навыка, но не представляет производственных затруднений.

Г л а в а 6

РАСЧЕТ СЕЧЕНИЯ ИСХОДНОЙ ЗАГОТОВКИ ДЛЯ РЕБРОВЫХ КАЛИБРОВ

Мец на основании опыта в ребровых калибрах разработал эмпирические зависимости между размерами исходной квадратной или ромбической заготовки и последующих 1—2 ребровых калибров. Эти соотношения хорошо согласуются с практическими данными и при некотором уточнении могут быть использованы для расчета калибровок тавровых и им подобных профилей. Примем следующие обозначения:

b_r — горизонтальная диагональ исходного квадрата или ромба;

h_v — вертикальная диагональ исходного квадрата или ромба;

b_1 и h_1 — ширина и высота первого ребрового калибра;

b_2 и h_2 — то же, второго ребрового калибра.

При одном подготовительном ребровом калибре могут быть приняты следующие соотношения между b_r и b_1 :

а) для квадратного исходного сечения

$$b_r = \frac{b_1}{1,05 \div 1,15} ;$$

б) для ромбического исходного сечения

$$b_r = \frac{b_1}{1,1 \div 1,2} .$$

В обоих случаях знаменатель должен уменьшаться с увеличением ширины ребрового калибра, т. е. общей ширины полок. Отношение вертикальной горизонтали исходного сечения к высоте ребрового калибра изменяется в сравнительно узких пределах 1,3—1,5.

Когда отношение h_v/h_1 слишком велико и обжатие по высоте превосходит допустимое для данного стана и нужно получить широкую подошву, то необходимо применять два подготовительных ребровых калибра. Величину горизонтальной диагонали исходного сечения получим, принимая:

$$b_r = \frac{b_2}{1,2 \div 1,35} .$$

Здесь также знаменатель уменьшается с увеличением общей ширины полок. Отношение h_1/h_2 , обеспечивающее нормальный захват полосы, может колебаться в пределах 1,6—1,85. Как подтверждается практикой, применение двух ребровых калибров способствует уширению, причем во втором калибре возможно в случае необходимости некоторое обжатие толщины стенки (2—10 мм) за счет проволакивания в закрытой части калибра. Высокая температура полосы и широкая поверхность стенки, где можно установить массивную выводную проводку, обеспечивают прямой выход полосы из валков и предотвращают ее заклинивание. Этому также благоприятствует неглубокий врез стенки и сравнительно большой уклон ее боковых граней.

Г л а в а 7

КОНСТРУИРОВАНИЕ ТАВРОВЫХ КАЛИБРОВ И НАСТРОЙКА СТАНА

Тавровая сталь относится к фланцевым профилям. В отличие от простых профилей равномерное распределение обжатия по сечению фланцевых и фасонных становится невозможным. При разработке калибровки тавровой стали с одинаковым относительным обжатием для полок и стенки невозможно также получить исходное прямоугольное сечение (часто квадратное) заготовки, к которому стремятся калибровщики. Следовательно, приходится отказаться от правила одинаковых относительных обжатий.

Обычно при калибровке фасонных профилей неравномерную деформацию стараются осуществить не во всех калибрах, а только в первых, когда металл имеет высокую температуру и более пластичен, чем в последующих проходах.

При прокатке тавровой стали в открытых калибрах неравномерные обжатия применяют как в первых, так и в последних проходах, и только в чистовом калибре стараются избежать неравномерной деформации, чтобы получить правильный по форме и не имеющий значительных внутренних напряжений готовый прокат.

Опытные данные различных заводов показывают, что при прокатке в открытых калибрах тавровых профилей даже из легированных марок стали (например, 30ХГСА, прокатываемой на Гурьевском металлургическом заводе) при различных коэффициентах деформации отдельных частей не возникает нарушений сплошности металла как наружных, так и внутренних.

В процессе прокатки тавровой стали необходимо особое внимание обращать на обрезку концов полосы, иначе при низком качестве отдельных плавок стали получаются разломченные, рваные концы, что может привести к оковам и поломкам прокатных валков.

Тавровая сталь почти всегда прокатывается без уклона граней полок на готовом профиле при вертикальном расположении стенки в чистовом калибре. Отсутствие уклона на готовом профиле определяет и незначительный выпуск граней полок в предчистовом пластовом калибре. Увеличение уклона в этом

калиbre нежелательно, так как вызывает в чистовом калиbre повышенное обжатие полок, особенно у их основания. Стенка профиля, получающая в чистовом калиbre только высотную деформацию (осадку) будет иметь малый коэффициент вытяжки. При выравнивании уклона полок в чистовом калиbre, т. е. при получении их с одинаковой толщиной по ширине, полки вынужденно уширяются до 4—5 мм и более.

Изменение условий прокатки (температуры, установки валков и т. д.), и вследствие этого колебание величины вынужденного уширения, может привести к тому, что размеры готового профиля выйдут из допускаемых пределов по ширине полок. Особенно это опасно для тонкостенных тавриков с высокой стенкой и широкими полками, к которым предъявляются жесткие требования в отношении размеров.

Дополнительное обжатие полок у основания в чистовом калиbre при прокатке тавровых профилей без уклона граней полок составляет:

$$\Delta h_{\text{доп}} = 2b \operatorname{tg} \alpha_2,$$

где α_2 — угол наклона граней полок предчистового калибра.

В черновых пластовых калибрах выпуск закрытых ручьев можно выбирать больше, так как эти калибры по ходу прокатки предшествуют ребровым, где происходит уменьшение уклона и некоторое выравнивание толщины полок. Следует отметить, что малые углы наклона граней полок затрудняют прокатку и ухудшают качественные показатели в зависимости от коэффициентов деформации и принятой схемы прокатки. При 7—8 фасонных калибрах и отсутствии резкого формоизменения по проходам можно не опасаться малых выпусков, если имеется в них необходимость. Тем более, пластовые калибры, за исключением специальных профилей, симметричны относительно горизонтальной оси и площади полок малы по сравнению с площадью стенки.

При боковом обжатии полок в пластовых калибрах силы, действующие на полосу со стороны нижнего и верхнего валков, одинаковы при отсутствии каких-либо нарушений, и для одностороннего защемления полосы не имеется никаких оснований. Выводные проводки с широкой горизонтальной поверхностью обеспечивают прямолинейный выход полосы. Оковывание валков в пластовых калибрах может произойти только в редких случаях при грубых нарушениях технологии (разная толщина полок из предыдущего калибра, неисправная валковая арматура, разлохмаченные концы полос). Однако иногда по условиям работы стана целесообразно в черновых калибрах или при прокатке тавровой стали с короткими и толстыми полками предусматривать боковое обжатие полок, способствующее их утонению и выравниванию коэффициентов деформации по сечению.

чению полосы. При этом обязательно должны приниматься во внимание температура и материал прокатываемой полосы.

В ребровых калибрах чем больше боковое обжатие по толщине стенки, тем сильнее одностороннее защемление и труднее выход полосы из валков. Закрытый валок увлекает полосу за собой, выводная проводка при малой ширине полок и непроч-

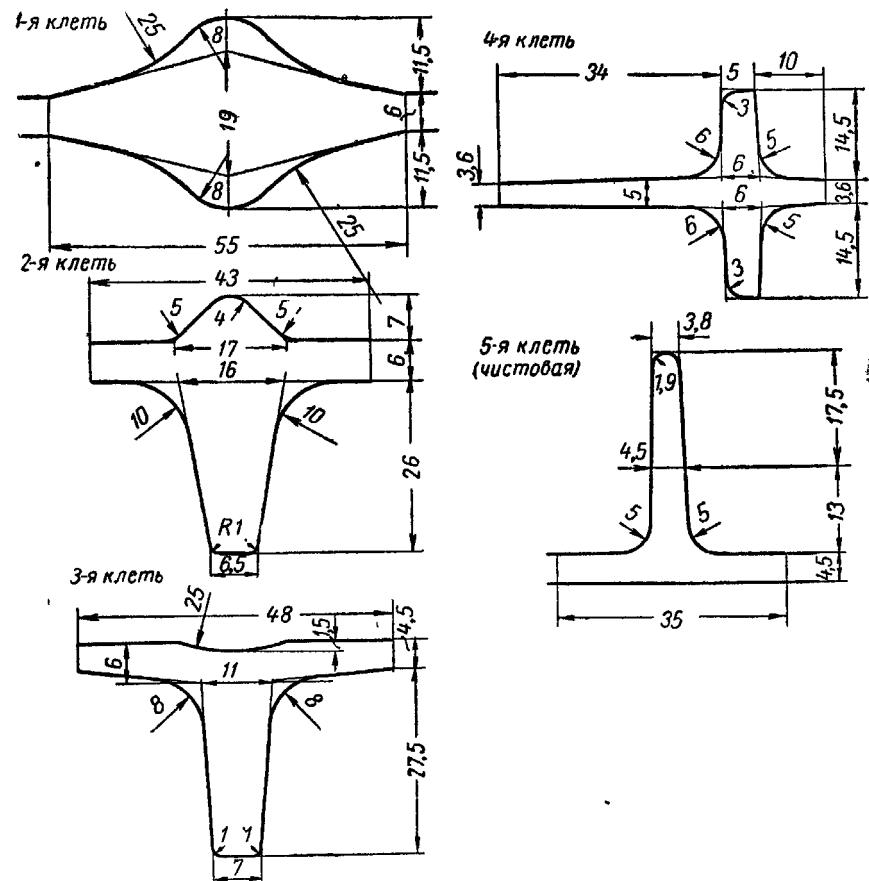


Рис. 12. Калибровка тавровой стали $35 \times 35 \times 4,5$ мм при прокатке на мелкосортном стане 250 с линейным расположением клетей

ной средней части, соответствующей стенке, ломается или изгибается, и происходит оковывание валка. Это особенно опасно для чистовых калибров. Известны случаи, когда увеличение толщины стенки из предчистового калибра всего лишь на 0,2 мм приводило к оковыванию валка чистовой клети.

В качестве примера применения бокового обжатия в закрытых ручьях калибров приведена действующая калибровка тавровой стали $35 \times 35 \times 4,5$ мм (рис. 12). В ребровых калибрах

второй и третьей клети происходит резкое формоизменение полосы со значительным боковым обжатием стенки. Однако эта калибровка вследствие ряда причин (боковое обжатие стенки в калибрах второй и третьей клети, симметричный калибр первой клети, большое обжатие стенки в предчистовой клети) не является удачной. Высокая температура металла и усиленные выводные проводки устраняют опасность оковывания валков. При этом заведомо увеличивается общая ширина подошвы. Широкая средняя часть выводной проводки, соответствующая стенке, и широкие крайние части проводки облегчают выход полосы из валков.

При прокатке тавровой стали в открытых калибрах широко используется вынужденное уширение как с целью искусственного увеличения ширины полок в ребровых и высоты стенки в пластовых калибрах, так и по условиям прокатки тавровых профилей. Поскольку точный расчет уширения не представляется возможным, то уширение принимается на основании практических данных, полученных при прокатке тавровых профилей различных размеров и формы. При калибровке тавровой стали небольших и средних размеров уширение выбирают в пределах 5—15 мм в первых проходах и 0,5—6 мм в последних. Для тавровой стали крупных размеров уширение колеблется в пределах 8—25 мм в первых проходах и 1—8 мм в последних. При разработке калибровки уширение в черновых калибрах следует выбирать немного заниженным по сравнению с наблюдаемым в действительности. С большой осторожностью выбирается уширение в чистовых и предчистовых калибрах, где нежелательны всякие отклонения от схемы, так как размеры готового профиля могут колебаться только в пределах, оговоренных стандартом или техническими условиями.

На станах, где в каждой клети осуществляется один проход (непрерывные, шахматные, зигзагообразные или чистовые линии мелкосортных станов с клетями типа переменное дуо), при освоении тавровых профилей обычно изготавливают валки с калибровкой по двум и даже более вариантам, что сокращает затраты времени на освоение. Можно также изготовить валки только по одному варианту калибровки с последующей их корректировкой по глубине закрытых ручьев. Этот метод, являясь более простым, основывается на том, что в процессе освоения тавровой стали最难нее получить необходимые размеры по высоте стенки и ширине полок, в то время как получение размеров по толщине стенки и полок не вызывает трудностей и определяется настройкой стана. Подрезка закрытых ручьев дает возможность в случае малой ширины полок или низкой стенки готового профиля перейти на другие калибры, тем самым компенсируя неточности принятого уширения. Поскольку прокатка тавровой стали производится в открытых калибрах со свободным уширением и, кроме того, ширина калибров проектируется

больше расчетной, то при ошибках в калибровке образования заусенцев не происходит.

В закрытых ручьях ребровых и пластовых калибров коэффициенты деформации значительно меньше, чем в открытых. Такое распределение коэффициентов деформации по сечению профиля приводит к утяжке высоты стенки или ширины полок в закрытых ручьях при их сравнительно небольшой площади. Поэтому при разработке калибровки это явление обязательно должно учитываться, причем величина утяжки компенсируется несколько большим обжатием (осадкой) в закрытых ручьях калибра. Тогда при изменении условий прокатки не происходит незаполнения в закрытых ручьях, особенно предчистовых калибров, которые оказывают большое влияние на размеры готового профиля.

Величина обжатия (часто называемого в литературе утяжкой) в настоящее время также не может быть определена теоретически и выбирается на основании практического опыта; для мелких размеров тавровой стали 2—10 мм, а для средних и крупных размеров 4—15 мм. При этом наибольшие значения утяжки относятся к черновым калибрам в случае малой площади частей полосы, прокатываемых в закрытых ручьях. Наименьшие значения утяжки принимают в чистовых калибрах при небольших коэффициентах деформации. Если в чистовом ребровом калибре выбранная утяжка высоты стенки слишком велика, то происходит местная деформация конца стенки профиля. Конец стенки при повышенном обжатии расплющивается и заклинивается в закрытом ручье, в результате чего происходит оковывание валка. Это может наблюдаться и в черновых калибрах при малой толщине стенки прокатываемой полосы.

Таким образом, при освоении тавровой стали в процессе настройки стана вначале изменением размеров исходного сечения необходимо получить уменьшение высоты стенки в чистовом калибре не более 2—4 мм, не обращая внимания даже на незаполнение черновых калибров. Затем при необходимости по условиям прокатки длина стенки из предчистового калибра может быть увеличена.

В ребровых калибрах, предшествующих пластовым, на внешних гранях полок делается вогнутость (на открытом валке выпуклость) со стрелой прогиба до 10 мм. Величина вогнутости зависит от размеров прокатываемого профиля и степени интенсивности деформации и при их увеличении также возрастает. В последних по ходу прокатки черновых калибров ребрового типа и при малых коэффициентах деформации поверхность внешних граней полок может быть прямой. Основное назначение вогнутости — компенсировать уширение стенки в последующих пластовых калибрах и предотвратить их переполнение в разъеме валков со стороны наружных граней полок. Не следует смешивать переполнение в пластовых калибрах со ст-

роны наружных граней полок (в результате которого образуется лампас) с образованием заусенцев, так как лампас при отсутствии грубых ошибок в калибровке не влияет на качество профиля, в то время как заусенцы обычно сопровождаются закатами. На полках профиля в ребровых и на конце стенки в пластовых калибрах заусенцев не образуется, так как эти калибры предусматривают свободное уширение стенки и полок.

Если при разработке калибровки вогнутость на наружных гранях полок ребрового калибра, предшествующего прёдчистовому, выбрана без учета размеров готового профиля и коэффициентов деформации, то возможно переполнение предчистового калибра, увеличивающее в нем толщину полок у основания. Вследствие этого возрастают обжатие полок по толщине в чистовом калибре с вертикальным расположением стенки и при изменении условий прокатки происходит колебание общего уширения полок. В результате, особенно для тавровой стали специальнego назначения с жесткими допусками, размеры профиля по ширине полок окажутся вне пределов допускаемых отклонений, увеличивая тем самым выход брака и вторых сортов. В колокольных калибрах, в которых первоначально формируется профиль, наоборот, на внешней грани подошвы делается выпуклость, которая устраняется в последующем ребровом калибре, способствуя заполнению стенки и вынужденному уширению полок. В некоторых калибровках (см. рис. 8) в качестве промежуточных также применяют колокольные калибры. Запас металла в колокольном калибре зависит от условий деформации в последующем по ходу прокатки ребровом калибре. Если в последнем не предусмотрено бокового обжатия стенки, что обычно встречается на практике, то выпуклость на внешней грани подошвы должна быть не слишком большой. В противном случае полоса смещается в сторону стенки и защемляется в местах соединения стенки с полками. Поэтому необходимую длину стенки лучше получать увеличением её длины в предыдущих пластовых калибрах, а не предусматривать колокольный калибр с большим запасом металла, который пойдет на питание стенки в ребровом калибре.

Практически чистовой калибр обычно располагают на ребро. При врезе стенки в верхний валок полосы надежно транспортируются по отводящим рольгангам и на холодильнике. Но при этом ухудшаются условия работы валковой арматуры, в особенности верхней выводной проводки. Поэтому иногда для крупных тавровых профилей с длинной и тонкой стенкой предусматривают врез стенки в нижнем валке чистового калибра, чем облегчается выход полосы из валков вследствие устойчивого положения нижней проводки и в какой-то степени уменьшается опасность оковывания валков. При транспортировке полос по рольгангам скручивания не происходит и готовый профиль занимает устойчивое наклонное положение.

В ребровых чистовых калибрах наружная поверхность подошвы, а также и внутренняя получается прямой. На стенке профиля, которая прокатывается с небольшим уклоном граней, в месте соединения с полками около окончания радиусов закруглений встречается заметный переход с уступом от радиусов к граням стенки. Причина этого заключается в отсутствии бокового обжатия стенки. Резкий переход наблюдается на тавриках с длинной и тонкой стенкой и может быть устранен при увеличении толщины стенки у основания в предчистовом калибре.

Пластовое расположение чистового калибра, хотя встречается на практике редко, имеет по сравнению с ребровым некоторые существенные преимущества. В пластовых чистовых калибрах практически отсутствует оковывание валков, так как эти калибры почти всегда симметричны относительно оси валков, имеют длинную стенку, для которой легко устанавливать широкие выводные проводки. Допускается обжатие толщины полок и поэтому в месте соединения стенки и полок не имеется резких переходов. В калибре контролируются размеры полок и невозможна асимметричность подошвы. Кроме того, пластовое расположение чистового калибра улучшает условия работы предчистового калибра ребрового типа. В последнем можно допустить свободное прохождение стенки. При этом устраивается и защемление полосы в закрытом ручье.

Однако в пластовых чистовых калибрах полки готового профиля имеют уклон 1—2%, который в ряде случаев абсолютно недопустим, а наружная поверхность подошвы получается с перегибом и неровной поверхностью в месте разъема валков. Если при изготовлении механизмов и машин допускается уклон наружных и внутренних граней полок и шероховатая поверхность, то пластовое расположение чистового калибра, по-видимому, следует предпочесть ребровому. Чтобы получить ровную прямую поверхность наружных граней полок пластовый чистовой калибр иногда проектируют балочного типа, но при этом затрудняется контроль ширины полок и увеличивается опасность защемления полосы.

Обычно в тавровых ребровых и пластовых калибрах, за исключением первых по ходу прокатки, не применяют бокового обжатия толщины стенки и полок в закрытых ручьях, что способствует нормальной работе стана, уменьшает защемление, а также утяжку стенки и полок.

При разработке калибровки толщина стенки у основания в искомом калибре, предшествующем по ходу прокатки ребровому, берется равной или несколько меньше, чем в ребровом калибре. При этом толщина стенки на конце обязательно должна быть меньше на 0,2—2,0 мм. Аналогично определяется и толщина полок в искомом калибре, если получаемый в нем раскат должен задаваться в калибр пластового типа. Однако, как уже указывалось раньше, в пластовых калибрах можно преду-

сматривать обжатие толщины полок, особенно при длинной стенке и коротких полках.

Возможное возникновение дефектов вследствие значительного незаполнения стенки по толщине в ребровом калибре третьей клети показано на рис. 13, а при прокатке тонкостенного профиля № 2 для переплетов промышленных зданий. Так как профиль № 2 несимметричен относительно оси стенки, то в третьей клети при слишком свободном прохождении в закрытом ручье тонкая стенка изгибается, в данном случае влево. В предчистовой клети при пластовом расположении калибра стенка по

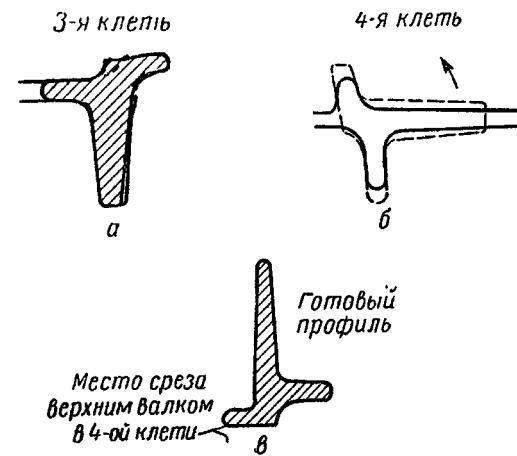


Рис. 13. Схема возникновения дефекта на профиле при незаполнении стенки по толщине в ребровом калибре

сравнению с полками имеет повышенное обжатие, которое и определяет положение задаваемого раскатка относительно калибра. В этой клети задаваемый раскат со стенкой, отогнутой по часовой стрелке, поворачивается в обратную сторону (на рис. 13, б показано стрелкой) и конец короткой полки оказывается за пределами закрытого ручья верхнего валка предчистового калибра. По мере прохождения полосы по всей ее длине поверхностью верхнего валка (левой боковой гранью закрытого ручья) срезается на угол наружная часть короткой полки (рис. 13, в) и получается неисправимый брак, так как толщина короткой полки в чистовой клети не выравнивается. Короткую полку срезает при входе полосы в валки, что может быть установлено по направлению рисок в месте среза, если их сопоставить с направлением вращения валков. При прокатке трудно обнаружить причину этого дефекта, так как изгиб стенки на получаемом раскате в третьей клети на глаз незамечен.

Для контроля, особенно при освоении новых тавровых профилей, и тем более несимметричных, отбирают темплеты от

всех калибров и сравнивают их с контрольными шаблонами. Таким способом можно непосредственно на прокатном стане выявить огклонения от схемы прокатки и избежать неоправданных затрат времени на освоение.

В пластовых калибрах незаполнение полок по толщине может привести к их случайному изгибу в ту или другую сторону. Если пластовый калибр является предчистовым, то на отдельных полосах получается разная ширина полок, выходящая за пределы допускаемых отклонений при асимметричности подошвы относительно оси стенки. При этом потребуется периодическая настройка стана, сдерживающая ритм работы и снижающая производительность.

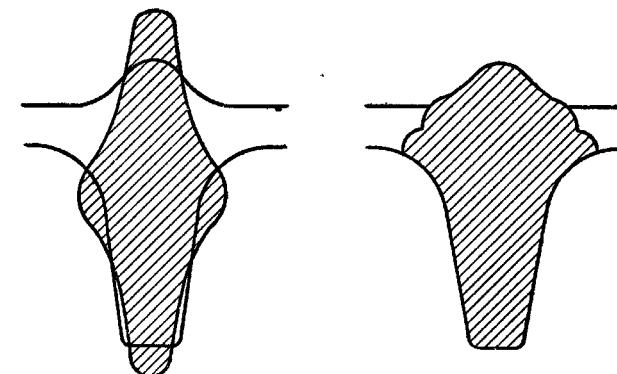


Рис. 14. Неправильное заполнение ребрового калибра при применении ромба в качестве исходного сечения заготовки

Выше указывалось на возможность в виде исключения применять ромб в качестве исходного сечения заготовки при прокатке тавровых профилей по типовым схемам II и IV. Поскольку ромб симметричен относительно обеих осей и меньшую диагональ ромба предполагается использовать для получения полок профиля, то по схеме II первые два фасонных калибра оказываются симметричными относительно вертикальной оси. Раскат из второго калибра, задаваемый в следующий калибр колокольного типа (рис. 14), на основании закона наименьшего сопротивления смещается в сторону нижнего валка и заклинивается в закрытой части, соответствующей стенке профиля.

Полки колокольного калибра и задаваемого в него раскатка не совпадают, последние попадают в закрытый ручей и претерпевают боковое обжатие за счет проволакивания. В месте разъема валков колокольного калибра образуются наплыты металла (см. рис. 14), и ширина полок практически равна нулю. Ненормальное защемление раскатка резко ухудшает выход полосы из валков и создает повышенное давление на нижнюю выводную

проводку, средняя часть которой, соответствующая стенке, не выдерживает нагрузки и изгибаётся или отламывается.

Кроме того, симметричная форма пластового калибра, предшествующего ребровому, вызывает повышенное обжатие высоты стенки в последнем и ухудшает захват полосы. Пролуски в ребровом калибре смещают в сторону нижнего вала, чтобы их углубления соответствовали полкам задаваемого раската.

При прокатке по схеме II тонкая правая часть раската, попадающая в выпуклость третьего калибра, может изогнуться, что затрудняет дальнейшую прокатку. Раскат из колокольного калибра с практически отсутствующими полками при прокатке в следующем за ним ребровом калибре претерпевает сложную деформацию. При этом благодаря выпуклости колокольного калибра наблюдается прирост (меньший, чем расчетный) ширины полок. В результате готовый профиль может получиться с укороченными полками. Подобное явление возможно не только для симметричных пластовых калибров, но и при неправильном заполнении первого пластового калибра, а следовательно, и второго по типовой схеме II.

Для контроля при настройке стана следует пользоваться накидными шаблонами, позволяющими определить предусмотренную схемой длину правой и левой части прокатываемых полос в пластовых калибрах. Таким образом, использование ромба в качестве исходного сечения по схеме II, как правило, нерационально, особенно для тонкостенных тавриков с длинной стенкой и короткими полками. Однако для тавровой стали с широкими полками можно применять ромб, так как, несмотря на смещение раската в колокольном калибре, полки имеют значительную ширину, которая препятствует смещению и способствует прямому выходу полосы из валков. Тавровые профили с низкой стенкой и широкими полками обычно прокатывают из ромба.

Для некоторых тавриков специального назначения требуется точное расположение стенки профиля посередине подошвы. При приемке готового профиля пользуются дополнительными контрольными шаблонами (рис. 15), позволяющими обнаружить смещение подошвы относительно стенки.

Обычная конструкция предчистового калибра пластового типа, особенно при вынужденном уширении в чистовом калибре, может привести к большому количеству брака в результате нарушения допусков по симметричности. Применение добавочных проходов в приемной коробке чистового калибра с целью получения симметричного профиля не дает существенного уменьшения брака и вторых сортов. В тесных пропусках приемной коробки полоса часто застrevает, в это время конец полосы быстро охлаждается водой, стекающей с бочки вала. При захвате почерневшего конца полосы валки выкрошаются, а выводные проводки ломаются.

Часто при прокатке происходит оковывание валков вследствие заклинивания стенки таврика в закрытом ручье чистового калибра, выводящее его из строя. Металл, запрессованный в закрытом ручье, затрудняет переточку валков. Оковывание

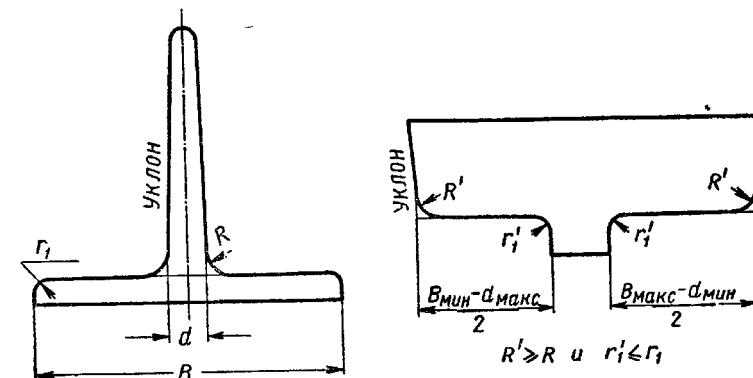


Рис. 15. Готовый профиль тавровой стали и контрольный шаблон для замера симметричности полок

валков периодически сопровождается поломками и поэтому установка добавочных пропусков не нашла применения.

Чтобы добиться надежного центрирования стенки профиля, необходимо незначительно изменить форму предчистового ка-

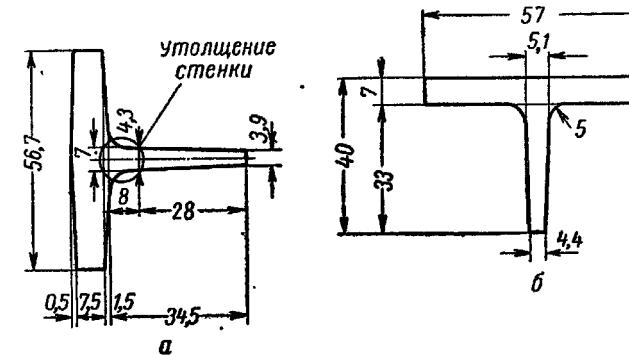


Рис. 16. Предчистовой (а) и чистовой (б) калибры для прокатки таврика 57×40×7×4 мм

либра, предусмотрев в нём увеличенное обжатие у основания стенки на участке, равном 5—15 мм, причем остальная часть стенки проходит в закрытом ручье свободно, без защемления. Значительное обжатие у основания стенки (рис. 16) центрирует профиль по отношению к середине подошвы и укрепляет ответственный узел профиля — соединение стенки с полками. Устойчивое центрирование полосы при помощи повышенной деформа-

ции позволяет расширить пропуска приемной коробки чистовой клети, в связи с чем облегчается задача полосы, уменьшается нагрузка на выводную проводку, прекращается оковывание валков и их поломка.

Дополнительное уменьшение колебаний ширины подошвы профиля может быть достигнуто при малом обжатии полок по толщине в чистовом калибре, или же, как указывалось ранее, применением чистового калибра пластового типа. Для профилей с различной шириной полок тоже не исключено колебание их ширины, выходящее из допусков, в то время как общая ширина подошвы находится в пределах допускаемых отклонений. Контроль ширины полок и устранение смещения подошвы производится в этом случае аналогично симметричным тавровым профилям. На ширину полок существенно влияет уклон стенки в предчистовом пластовом калибре. При повышенном уклоне полоса при прокатке в предчистовом пластовом калибре стремится сместиться в сторону полок. По длине полосы степень образования лампаса различна. Поэтому в чистовом калибре по длине полосы получается различное обжатие полок и соответственно различная их ширина, которая может превысить допускаемые отклонения. С целью устранения этого дефекта в предчистовом калибре следует устанавливать хорошо закрепленные массивные линейки:

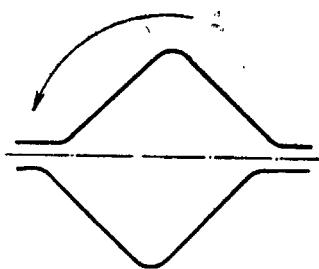


Рис. 17. Схема скручивания квадратного раската при смещении валков

При горизонтальном смещении валков относительно друг друга в предчистовой клети на готовом профиле также получается различная ширина полок. К аналогичному результату приводит смещение валков и в предыдущем по ходу прокатки ребровом калибре. В связи с этим еще раз приходится обращать внимание на необходимость крайних буртов на валках.

При использовании в качестве исходного квадратного и других простых сечений для прокатки малых размеров тавровой стали на мелкосортных станах следует устанавливать обводные аппараты для задачи исходного сечения в первый ребровой калибр. Если при этом не требуется кантовка, то направление например, квадрата не вызывает затруднений, так как при диагональном расположении его в валках задача в фасонный калибр производится также по диагонали. В случае пластового расположения первого фасонного калибра квадрат задается плашмя, поэтому необходима его кантовка на 90° при движении по обводному аппарату. Скручивание квадратной полосы на 90° при прохождении ее по аппарату достигается смещением валков (рис. 17), из которых выпускается квадрат. Обычно

скручивание полосы определяют по направлению прокатки. Причиной скручивания полосы является возникающая от смещения валков пара сил. Более сильное давление на левую верхнюю и правую нижнюю стороны квадрата обуславливает скручивание полосы влево (см. рис. 17). Для того чтобы в квадратном, а также овальном, ромбическом, круглом и ящичном калибрах происходило скручивание по часовой стрелке, необходимо верхний валок сместить влево, если смотреть по направлению прокатки полосы. При смещении верхнего валка вправо произойдет скручивание полосы против часовой стрелки.

При применении в качестве исходного сечения ромба или овала и при задаче их плашмя в первый фасонный калибр пластового типа потребуется кантовка полос на 180° , так как эти сечения не могут передаваться по обводному аппарату, если их большая ось располагается горизонтально.

Необходимо отметить возможное дополнительное скручивание полос также от неправильной установки вводных и выводных проводок и при отклонении валков от горизонтального положения вследствие неправильной установки или неравномерного износа подшипников и вкладышей.

При получении размеров готового профиля тавровой стали в соответствии с допускаемыми отклонениями основной контроль приходится осуществлять за теми элементами профиля, которые прокатываются в открытых ручьях. Если чистовой калибр ребрового типа, то размеры стенки при заполнении закрытого ручья по высоте могут изменяться в небольших пределах. Высота стенки изменяется по мере выработки валков и при настройке стана за счет толщины полок. Так как допуски на толщину стенки небольшие по сравнению с допускаемыми отклонениями по высоте профиля, то естественно, что изменение размера по высоте стенки также незначительно. Толщина же стенки готового профиля определяется предчистовым калибром и легко регулируется. Основным размером профиля, который необходимо постоянно контролировать, является ширина полок. Поздняя зависит от величины уширения в чистовом калибре и технологических факторов. Ширина подошвы или каждой полки может регулироваться степенью заполнения полок в пластовом предчистовом калибре. Кроме того, иногда целесообразно изменять ширину полок в предчистовом калибре путем различной установки валков. В чистовых калибрах пластового типа основным контролируемым размером является длина стенки.

Г л а в а 8

ПРИМЕРЫ КАЛИБРОВКИ ТАВРОВОЙ СТАЛИ

Калибровка тавровой стали

Требуется разработать калибровку таврового профиля размерами $75 \times 75 \times 8$ мм из стали марки Ст.З для прокатки на линейном стане 550 (рис. 18).

Выбор схемы прокатки и коэффициентов деформации. Размеры и допуски готового профиля в холодном состоянии по ГОСТ 3294—53 указаны на рис. 19. Площадь сечения профиля равна $11,6 \text{ см}^2$, теоретический вес 1 пог. м равен 9,11 кг.

Расчет ведем против хода прокатки. Для определения горячих размеров¹ профиля принимаем коэффициент усадки равным 1,013:

$$H' = 75 \cdot 1,013 = 76 \text{ мм};$$

$$B' = 75 \cdot 1,013 = 76 \text{ мм};$$

$$c' = 8 \cdot 1,013 = 8,1 \text{ мм};$$

$$a' = 8 \cdot 1,013 = 8,1 \text{ мм}.$$

С учетом допускаемых отклонений окончательные размеры чистового калибра равны: $H' = 75,7$ мм; $B' = 76$ мм; $c' = a' = 7,8$ мм.

Принимаем уклон граней стенки 1,5% и постоянную толщину полок по их ширине в чистовом калибре ребрового типа.

Определяем некоторые дополнительные размеры.

Толщина стенки у основания:

$$d' = c' + 2(H' - a') \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 = 7,8 + 2(75,7 - 7,8) \cdot 0,015 = 9,8 \text{ мм},$$

где α_1 — угол наклона граней стенки.

Толщина стенки посередине

$$c'_c = \frac{d' + c'}{2} = \frac{9,8 + 7,8}{2} = 8,8 \text{ мм}.$$

Высота стенки до внутренних граней полок

$$h' = H' - a' = 75,7 - 7,8 = 67,9 \text{ мм}.$$

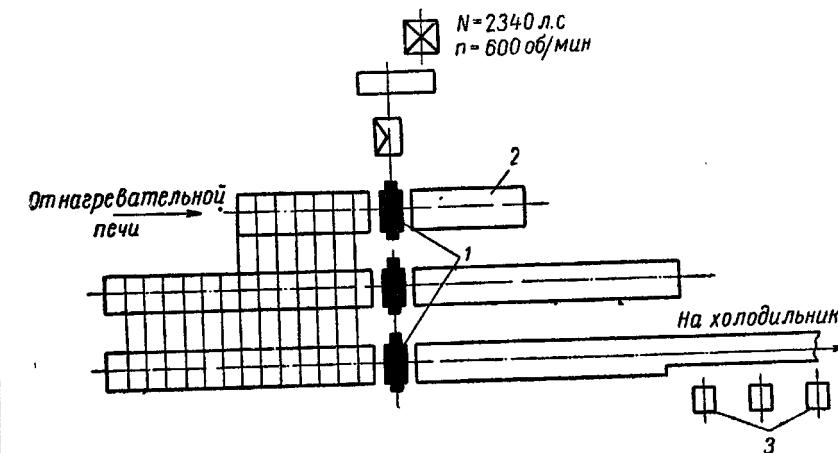


Рис. 18. Схема расположения оборудования стана 550 линейного типа:
1 — рабочие клети ($D = 560$ мм); 2 — подъемно-качающийся стол; 3 — пилы

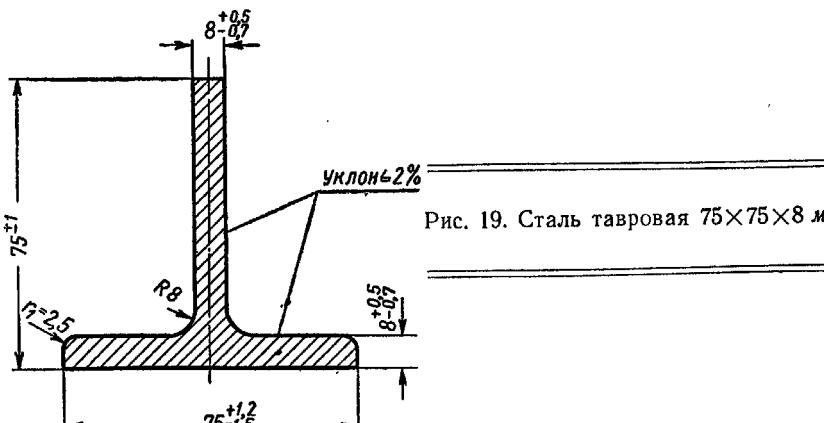


Рис. 19. Сталь тавровая $75 \times 75 \times 8$ мм

¹ Искомые размеры обозначаются штрихом, а без штриха — известные.

Ширина каждой полки

$$b' = \frac{B' - d'}{2} = \frac{76 - 9,8}{2} = 33,1 \text{ мм.}$$

Площадь полки

$$F'_n = a' b' = 7,8 \cdot 33,1 = 259 \text{ мм}^2.$$

Площадь стенки

$$F_c = c' \cdot h' + d' \cdot a' = 8,8 \cdot 67,9 + 9,8 \cdot 7,8 = 674 \text{ мм}^2.$$

Площадь чистового калибра без учета радиусов закруглений

$$F' = 2F'_n + F_c = 1192 \text{ мм}^2.$$

На стане 550 наиболее целесообразно прокатывать профили за 9 или 11 проходов. Поскольку на задней стороне стана не предусмотрена передача раската из первой клети во вторую, число проходов в первой и во второй клетях должно быть четным. Для данного случая прокатки тавровой стали крупных размеров принимаем типовую схему IV, имеющую 7 фасонных калибров (см. рис. 8). Сторона исходного квадратного сечения приближенно составит 77—79 мм.

Наиболее подходящей заготовкой из сортамента заготовочного стана 800 является квадрат 120×120 мм с последующим обжатием его на стане 550 в четырех ящичных калибрах до сечения, задаваемого в первый фасонный калибр. При этом общее число проходов для прокатки тавровой стали равно 11; это число наиболее рационально распределяется по клетям следующим образом:

Клети	Число проходов
Обжимная	6
Черновая	4
Чистовая	1

После выбора схемы прокатки намечаем применительно к условиям данного стана коэффициенты обжатия (k) в калибрах.

Коэффициенты обжатия стенки в пластовых калибрах:

$$k_7 = 1,98; k_8 = 1,72; k_{10} = 1,34.$$

Абсолютные обжатия толщины стенки:

$$\Delta h_7 = 18,8 \text{ мм}; \Delta h_8 = 7,7 \text{ мм}; \Delta h_{10} = 2,95 \text{ мм.}$$

Коэффициенты обжатия полок в ребровых калибрах:

$$k_6 = 1,93; k_9 = 1,61; k_{11} = 1,19.$$

Абсолютные обжатия толщины полок:

$$\Delta h_6 = 13,6 \text{ мм}; \Delta h_9 = 5,5 \text{ мм}; \Delta h_{11} = 1,55 \text{ мм.}$$

Обжатия взяты посередине как для стенки, так и для полок.

Одиннадцатый калибр — чистовой. Размеры калибра равны горячим размерам готового профиля. Боковое обжатие стенки отсутствует. Задаемся общим уширением полок в чистовом калибре ($\Delta B_{11} = 1,5 \text{ мм}$) и абсолютным обжатием (утяжкой) по высоте стенки, равным 6 мм. Тогда общая высота стенки в десятом калибре равна:

$$H' = H + 6 \text{ мм} = 75,7 + 6 = 81,7 \text{ мм.}$$

Десятый калибр. Расчет калибра производим при коэффициенте обжатия полок в чистовом проходе, равном $k_{11} = 1,19$.

Зашемления стенки в чистовом калибре во избежание заклинивания не предусматривается.

Толщина стенки у основания в искомом калибре равна

$$d' = d = 9,8 \text{ мм.}$$

Толщину стенки у конца для ее свободного прохождения в закрытом ручье чистового калибра принимаем равной 7,2 мм.

Средняя толщина стенки:

$$c' = \frac{d' + c'}{2} = \frac{9,8 + 7,2}{2} = 8,5 \text{ мм.}$$

Средняя толщина полок:

$$a'_c = a_c \cdot k_{11} = 7,8 \cdot 1,19 = 9,3 \text{ мм.}$$

Общая ширина подошвы:

$$B' = B - \Delta B_{11} = 76 - 1,5 = 74,5 \text{ мм.}$$

Ширина каждой полки:

$$b' = \frac{B' - d'}{2} = \frac{74,5 - 9,8}{2} = 32,35 \text{ мм.}$$

Уклон граней полок в искомом калибре равен 2%. Большой уклон нецелесообразен, так как чтобы получить в чистовом калибре полки одинаковой толщины, необходимо будет увеличивать обжатие, вследствие этого ширина подошвы готового профиля, возможно, выйдет из допусков.

Определяем толщину полок у основания при выпуске граней стенки $\operatorname{tg} \alpha_2 = 0,02$ (α_2 — угол наклона граней полок):

$$a'_1 = a'_c + b' \cdot \operatorname{tg} \alpha_2 = 9,3 + 32,35 \cdot 0,02 = 9,95 \approx 10 \text{ мм.}$$

Толщина полок на концах:

$$a' = a'_c - b' \cdot \operatorname{tg} \alpha_2 = 9,3 - 32,35 \cdot 0,02 = 8,65 \approx 8,7 \text{ мм.}$$

Высота стенки до внутренних граней полок:

$$h' = H - a'_1 = 81,7 - 10 = 71,7 \text{ мм.}$$

Площадь каждой полки:

$$F_{\text{п}}' = \frac{a_1' + a'}{2} \cdot b' = a_c' \cdot b' = 9,3 \cdot 32,35 = 302 \text{ мм}^2.$$

Площадь стенки:

$$F_c' = \frac{d' + c'}{2} \cdot h' + a_1' \cdot d' = 8,5 \cdot 71,7 + 10 \cdot 9,8 = 708 \text{ мм}^2.$$

Площадь всего калибра:

$$F' = 2F_{\text{п}}' + F_c' = 2 \cdot 302 + 708 = 1312 \text{ мм}^2.$$

Коэффициент вытяжки в чистовом калибре:

$$\mu_{11} = \frac{F'}{F} = \frac{1312}{1192} = 1,1.$$

Девятый калибр рассчитывается, исходя из принятого коэффициента обжатия полок в десятом калибре $k_{10}=1,34$. Принимаем уширение стенки в десятом калибре:

$$\Delta B_{10} = 2,5 \text{ мм.}$$

Утяжка каждой полки по высоте:

$$\Delta b_{10} = 2,3 \text{ мм.}$$

Определяем общую высоту стенки в искомом калибре:

$$H' = H - \Delta B_{10} = 81,7 - 2,5 = 79,2 \text{ мм.}$$

Толщина стенки у основания:

$$d' = d \cdot k_{10} = 9,8 \cdot 1,34 = 13,2 \text{ мм.}$$

Толщина стенки у конца:

$$c' = c \cdot k_{10} = 7,2 \cdot 1,34 = 9,65 \approx 9,7 \text{ мм.}$$

Толщина стенки посередине:

$$c_c' = \frac{d' + c'}{2} = \frac{13,2 + 9,7}{2} = 11,45 \text{ мм.}$$

Ширина каждой полки:

$$b' = b + \Delta b = 32,35 + 2,3 = 34,65 \text{ мм.}$$

Общая ширина подошвы:

$$B' = 2(b + \Delta b) + d' = 2 \cdot 34,65 + 13,2 = 82,5 \text{ мм.}$$

При расчете не предусматриваем бокового обжатия полок, принимая

$$a_1' = 9,7 \text{ мм} < a_1.$$

Толщину полок на концах можно найти исходя из выпуска их граней при $\operatorname{tg} \alpha_2 = 0,02$:

$$a' = a_1' - 2b' \cdot \operatorname{tg} \alpha_2 = 9,7 - 2 \cdot 34,65 \cdot 0,02 = 8,3 \text{ мм.}$$

Толщина полок посередине:

$$a_c' = \frac{a_1' + a'}{2} = \frac{9,7 + 8,3}{2} = 9 \text{ мм.}$$

Высота стенки до внутренних граней полок:

$$h' = H' - a_1' = 79,2 - 9,7 = 69,5 \text{ мм.}$$

Площадь одной полки:

$$F_{\text{п}}' = a_c' \cdot b' = 9 \cdot 34,65 = 312 \text{ мм}^2.$$

Площадь стенки:

$$F_c' = c_c' \cdot h' + a_1' \cdot d' = 11,45 \cdot 69,5 + 9,7 \cdot 13,2 = 924 \text{ мм}^2.$$

Площадь девятого калибра:

$$F' = 2 \cdot F_{\text{п}}' + F_c' = 2 \cdot 312 + 924 = 1548 \text{ мм}^2.$$

Коэффициент вытяжки в десятом калибре:

$$\mu_{10} = \frac{F'}{F} = \frac{1548}{1312} = 1,18.$$

Продолжая расчет, подобным же образом получим необходимые размеры фасонных калибров. Основным недостатком данной методики расчета является отсутствие теоретических формул, которые позволили бы с достаточной точностью при данном обжатии определить размеры прокатываемых полос. Однако следует отметить, что принимаемые на основании обобщенных практических данных утяжка в закрытых и уширение в открытых ручьях дают полную возможность разработать вполне совершенную калибровку, обеспечивающую высокую производительность стана при хорошем качестве прокатываемого профиля.

В пятом калибре колокольной формы происходит первоначальное формирование профиля тавровой стали из заготовки квадратного сечения. Задаемся углублением на гладком валке в виде треугольника со следующими размерами: высота 20 мм и основание 50 мм.

Общая площадь калибра равна:

$$F' = 4600 + \frac{1}{2} \cdot 20 \cdot 50 = 5100 \text{ мм}^2.$$

Тогда коэффициент вытяжки в шестом калибре равен:

$$\mu_6 = \frac{5100}{3833} = 1,33.$$

Определение размеров исходного квадратного сечения. Задаемся отношением общей ширины шестого калибра к диагонали исходного квадрата $\frac{b_2}{b_1} = 1,2$.

Радиусы закругления углов в квадратном калибре ящичного типа приняты $R = 15 \text{ мм}$.

Находим горизонтальную диагональ квадрата:

$$b_1 = \frac{b_2}{1,2} = \frac{120}{1,2} = 100 \text{ мм.}$$

Сторона исходного квадратного сечения определяется по формуле:

$$a_k = \frac{b_1 + 0,828 R}{1,414} = \frac{100 + 0,828 \cdot 15}{1,414} = 79,5 \approx 80 \text{ мм.}$$

Полученные в результате расчета размеры калибров сведены в табл. 3 и показаны на рис. 20.

Таблица 3
Расчетные данные калибровки тавровой стали $75 \times 75 \times 8 \text{ мм}$

№ калибров	Площадь калибров, мм^2	Общий коэффициент вытяжки	Стенка						Полки					
			k	h мм	d мм	c мм	F_c мм^2	μ_c	k	b мм	a_1 мм	a мм	F_p мм^2	μ_p
11	1192	1,10	—	67,9	9,8	7,8	674	1,05	1,19	33,1	7,8	7,8	259	1,16
10	1312	1,18	1,34	71,7	9,8	7,2	708	1,31	—	32,35	10,0	8,7	302	1,03
9	1548	1,29	—	69,5	13,2	9,7	924	1,14	1,61	34,65	9,7	8,3	312	1,52
8	2000	1,33	1,72	76,6	13,0	9,2	1050	1,55	—	32,75	15,4	13,6	475	1,09
7	2656	1,45	1,98	69,0	20,1	18,1	1622	1,71	—	36,95	15,0	13,0	517	1,02
6	3833	1,33	—	55,3	43,0	32,8	2783	1,24	1,93	38,5	14,7	12,5	525	1,57
5	5100	1,25	—	50,8	42,0	31,0	3450	—	—	31,5	26,2	26,2	825	—
4	6400	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Исходный квадрат $80 \times 80 \text{ мм}$														

В связи с неравномерной деформацией отдельных элементов профиля (стенки и полок) при прокатке тавровой стали не соблюдаются какого-либо постоянства отношения радиусов закруглений к толщине элементов. Радиусы закруглений должны выбираться конструктивно, постепенно увеличивая их от чистового калибра к первому фасонному калибрю.

На наружной грани подошвы шестого калибра следует сделать вогнутость для компенсации уширения в последующих двух пластовых калибрах. Величина вогнутости не должна быть меньше 5—6 мм .

Расчет ящичных калибров для обжатия заготовки $120 \times 120 \text{ мм}$ на исходное сечение $80 \times 80 \text{ мм}$ трудностей не представляет и осуществляется за четыре прохода (здесь не приводится).

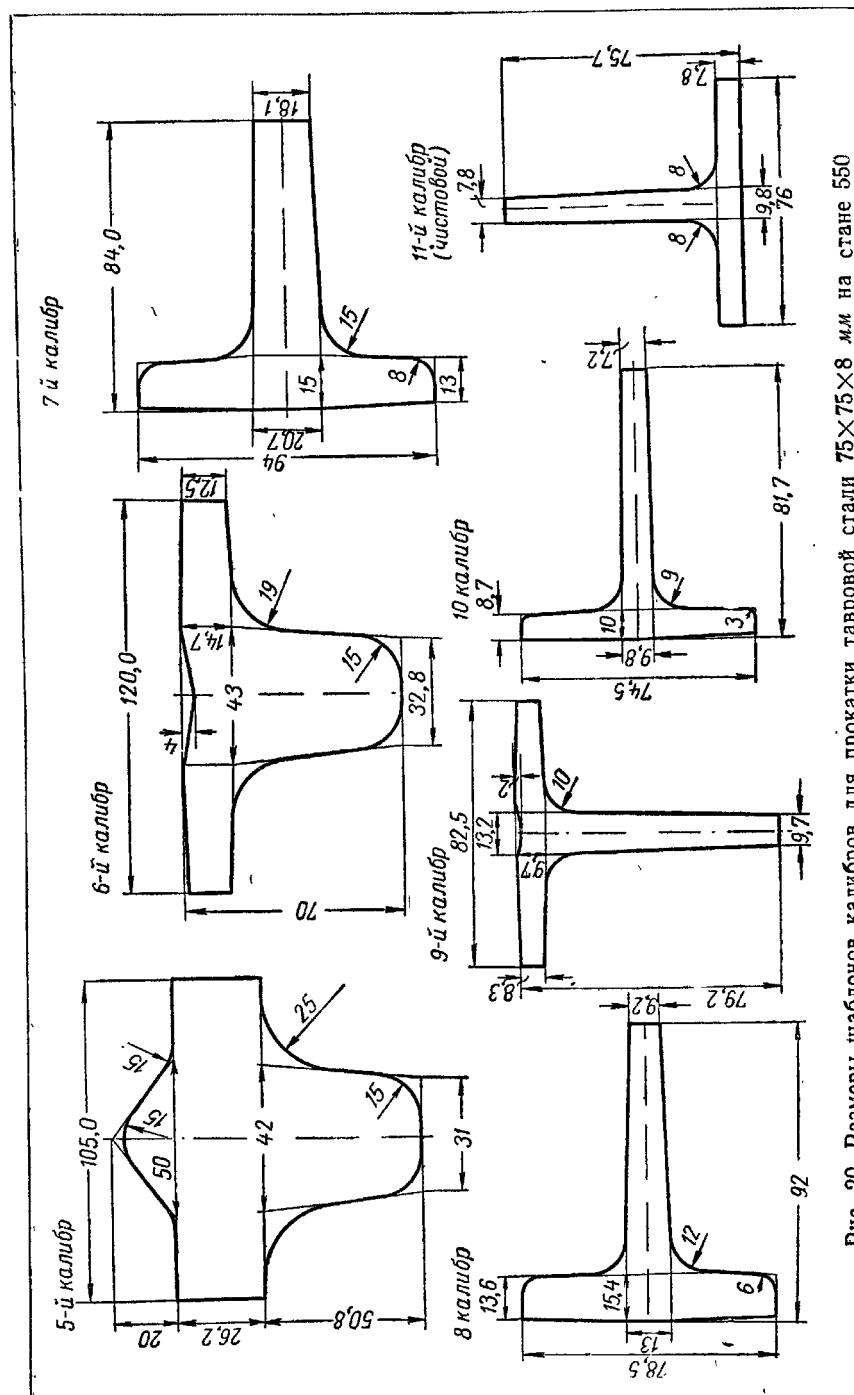


Рис. 20. Размеры шаблонов калибров для прокатки тавровой стали $75 \times 75 \times 8 \text{ мм}$ на стане 550

Калибровка тавровой стали со смещенными полками

Требуется спроектировать калибры для прокатки тонкостенного профиля № 2 (ГОСТ 7511—58) со смещенными полками на линейном стане 250 (рис. 21). Привод стана комбинированный от паровой машины и двух электродвигателей. Размеры профиля в холодном состоянии приведены на рис. 22.

Выбор схемы прокатки и определение коэффициентов обжатия. Тавровая сталь со смещеными

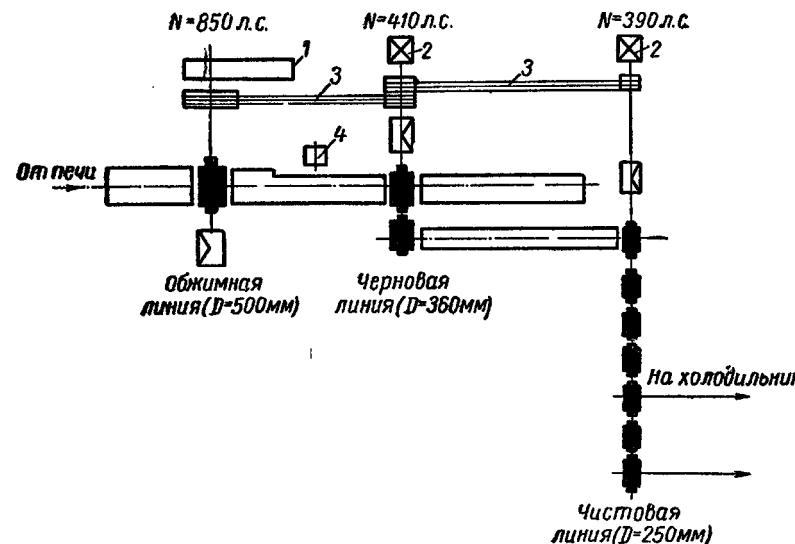


Рис. 21. Схема расположения оборудования стана 250 с расположением клетей в три линии:

1 — первая машина; 2 — электродвигатели; 3 — канатная передача;
4 — ножницы

ми полками, например № 8 и № 8 а, до последнего времени прокатывалась в калибрах балочного типа с применением одного или двух ребровых калибров, в которых контролировалась высота стенки и обеспечивалось получение нужной ширины полок. Этот способ не мог дать положительных результатов при освоении тонкостенных профилей со смещенными полками.

Для прокатки профиля № 2 в связи с незначительными его размерами принимаем типовую схему II (рис. 8), имеющую три ребровых и три пластовых калибра. На чистовой линии стана, где задача полос при прокатке фасонных профилей осуществляется вручную без обводных аппаратов, производится только пять проходов, а две последние клети не используются. Первый фасонный калибр располагается во второй клети черновой линии, диаметры валков которой допускают применение повышенных

обжатий по сравнению с остальными профильными калибрами. Отсутствие кантовки при задаче в первую клеть чистовой линии оказывается положительно на работе стана.

Намечаем частные коэффициенты обжатия толщины стенки в пластовых калибрах и толщины полок в ребровых калибрах. Коэффициенты обжатия стенки должны выбираться исходя из следующих соображений. Высота исходного сечения (прямоугольного или квадратного), задаваемого в первый профильный калибр, обычно несколько больше общей ширины полок готов-

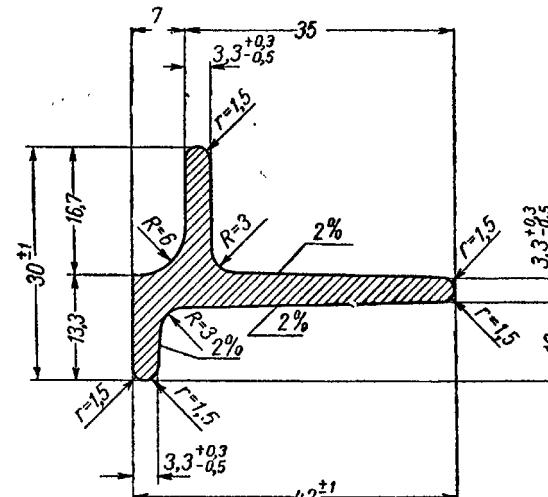


Рис. 22. Профиль № 2 для переплетов промышленных зданий

вого профиля и составляет 32—33 мм. Средняя толщина стенки в чистовом калибре с учетом уклона боковых граней равняется 4,2 мм. Общий коэффициент обжатия в трех пластовых калибрах посередине стенки равен:

$$k = \frac{33}{4,2} = 7,85.$$

Распределяем его по проходам следующим образом:

$$k_4 = 1,7; \quad k_1 = 1,95; \quad k_0 = 2,75.$$

Коэффициенты обжатия толщины полок намечаем на основании практического опыта применительно к условиям данного стана:

$$k_5 = 1,21; \quad k_3 = 1,38; \quad k_2 = 1,98.$$

Задаемся утяжкой стенки в ребровых калибрах:

Клети	Утяжка мм
Вторая	6,5
Третья	4
Пятая	2,5

Утяжка на обе полки в предчистовой клети равна 4 мм. На основании практических данных принимаем следующие величины уширения стенки в пластовых и полок в ребровых калибрах:

Клети	Уширение, мм
Первая	5 (стенки)
Вторая	1,8 (длинной и короткой полки)
Третья	3,2 (длинной полки) и 2,2 (короткой полки)
Четвертая	4 (стенки)
Пятая	0,6 (длинной полки) и 0,7 (короткой полки)

Введем дополнительные обозначения для длинной полки:

b_1 — ширина длинной полки;

n_1 — толщина длинной полки у основания;

n — то же, на конце;

h_1 — смещение наружных граней полок относительно друг друга.

Ширина короткой и длинной полок в процессе расчета определяется относительно средней толщины стенки, а общая ширина полок находится следующим образом:

$$B = b_1 + b + c_c.$$

Определяем горячие размеры профиля.

Общая высота стенки

$$H' = 1,013 \cdot H = 1,013 \cdot 42 = 42,5 \text{ мм.}$$

Общая ширина полок

$$B' = 1,013 \cdot B = 1,013 \cdot 30 = 30,4 \text{ мм.}$$

Смещение наружных граней полок

$$h'_1 = 1,013 \cdot h_1 = 1,013 \cdot 7 = 7,1 \text{ мм.}$$

Толщина стенки и полок на конце

$$c' = a' = n' = 1,013 \cdot c = 1,013 \cdot 3,3 = 3,4 \text{ мм.}$$

Вследствие того что по толщине стенки и полок имеется повышенный допуск на минус, несколько уменьшаем полученные размеры и принимаем:

$$a' = n' = 3,2 \text{ мм}; \quad c' = 3,3 \text{ мм.}$$

Пятая клеть (чистовая). Разм'еры калибра чистовой клети принимаем равными горячим размерам профиля с учетом допускаемых отклонений. Определяем некоторые дополнительные размеры чистового калибра. Толщина стенки у основания (по наружной грани короткой полки) при уклоне 2% согласно ГОСТ 7511—58 равна:

$$d' = c + 2H \operatorname{tg} \alpha_1 = 3,3 + 2 \cdot 42,5 \cdot 0,02 = 5 \text{ мм.}$$

Толщина стенки посередине

$$c'_c = \frac{d' + c}{2} = \frac{5+3,3}{2} = 4,15 \text{ мм.}$$

Ширина короткой полки

$$b' = \left(10 + \frac{3,3}{2} \right) \cdot 1,013 - \frac{4,15}{2} = 9,7 \text{ мм.}$$

Толщина короткой полки у основания

$$a'_1 = a + b' \cdot \operatorname{tg} \alpha_2 = 3,2 + 9,7 \cdot 0,02 = 3,4 \text{ мм.}$$

Средняя толщина короткой полки

$$a'_c = \frac{a'_1 + a}{2} = \frac{3,4 + 3,2}{2} = 3,3 \text{ мм.}$$

Ширина длинной полки

$$b'_1 = B - c'_c - b' = 30,4 - 4,15 - 9,7 = 16,55 \text{ мм.}$$

Толщина длинной полки у основания и на конце:

$$n'_1 = n = 3,2 \text{ мм.}$$

Площадь короткой полки:

$$F'_{\text{к. п.}} = a'_c \cdot b' = 3,3 \cdot 9,7 = 32 \text{ мм}^2.$$

Площадь длинной полки:

$$F'_{\text{д. п.}} = n'_1 \cdot b'_1 = 3,2 \cdot 16,55 = 53 \text{ мм}^2.$$

Площадь стенки:

$$F'_c = c'_c \cdot H = 4,15 \cdot 42,5 = 177 \text{ мм}^2.$$

Площадь всего калибра:

$$F' = F'_{\text{к. п.}} + F'_{\text{д. п.}} + F'_c = 32 + 53 + 177 = 262 \text{ мм}^2.$$

Отсутствие по ГОСТ уклона граней длинной полки, незначительный односторонний уклон короткой полки готового профиля и наличие уклона стенки предопределяют ребровое расположение чистового калибра. Однако принципиально возможно и пластовое расположение чистового калибра, обеспечивающего

получение стенки при меньших коэффициентах обжатия и некотором изменении схемы прокатки. В этом случае, чтобы получить уклон элементов по ГОСТ, необходимо применить чистовой калибр балочного типа.

Схема определения нейтральной линии ребровых калибров относительно горизонтальной базисной линии $x-x$ при прокатке профиля № 2 показана на рис. 23. Боковое обжатие стенки в ребровых калибрах и полок в пластовых отсутствует вследствие малой толщины элементов профиля.

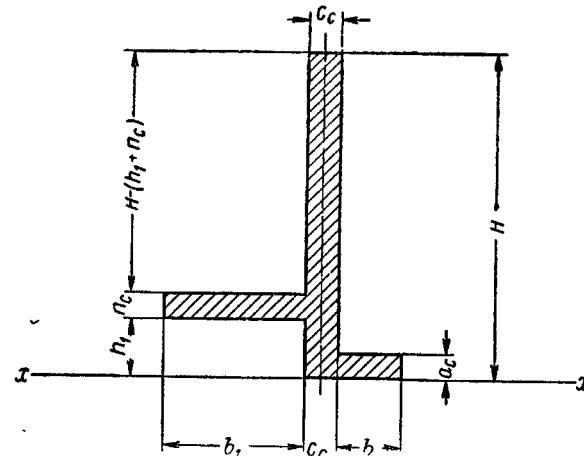


Рис. 23. Схема определения нейтральной линии ребрового калибра при прокатке профиля № 2

Для ребровых калибров ордината центра тяжести контура нижнего валка (см. рис. 23) равна

$$y_1 = \frac{b_1 \cdot h_1}{b_1} = h_1.$$

Для верхнего валка:

$$y_2 = \frac{c_c \cdot H + b_1(h_1 + n_c) + b \cdot a_c}{c_c + b_1 + b}.$$

Ордината нейтральной линии:

$$y = \frac{y_1 + y_2}{2}.$$

Расчет калибров чистовой линии производится подобно тавровой стали $75 \times 75 \times 8$ мм.

Выбор исходной заготовки. Первый фасонный калибр черновой линии и калибр первой клети чистовой линии стана — имеют пластовое расположение и подобны по форме. Размеры первого фасонного калибра черновой линии прини-

мают конструктивно так, чтобы обеспечить заполнение полок в следующем калибре по ходу прокатки. Задаваясь величиной уширения в калибре первой клети чистовой и черновой линий ($\Delta B_1 = 5$ мм и $\Delta B_0 = 7,5$ мм), получаем исходное прямоугольное сечение 33×39 мм, которое, как уже указывалось выше, целесообразно прокатывать по схеме: гладкая бочка — ребро — гладкая бочка, или квадрат — гладкая бочка. В этом случае при настройке легко изменять размеры исходного сечения и таким образом регулировать заполнение первого фасонного калибра. Так как толщина прямоугольного сечения, задаваемого в первый профильный калибр, определена с достаточной для практической работы точностью, то в зависимости от условий работы данного стана калибр, предшествующий фасонному, может быть ребровым. Эта схема гладкая бочка — ребро при увеличенном зазоре между валками допускает изменение высоты ребрового раската в широких пределах. Высота ребрового раската после кантовки является шириной прямоугольника, задаваемого плашмя в первый фасонный калибр.

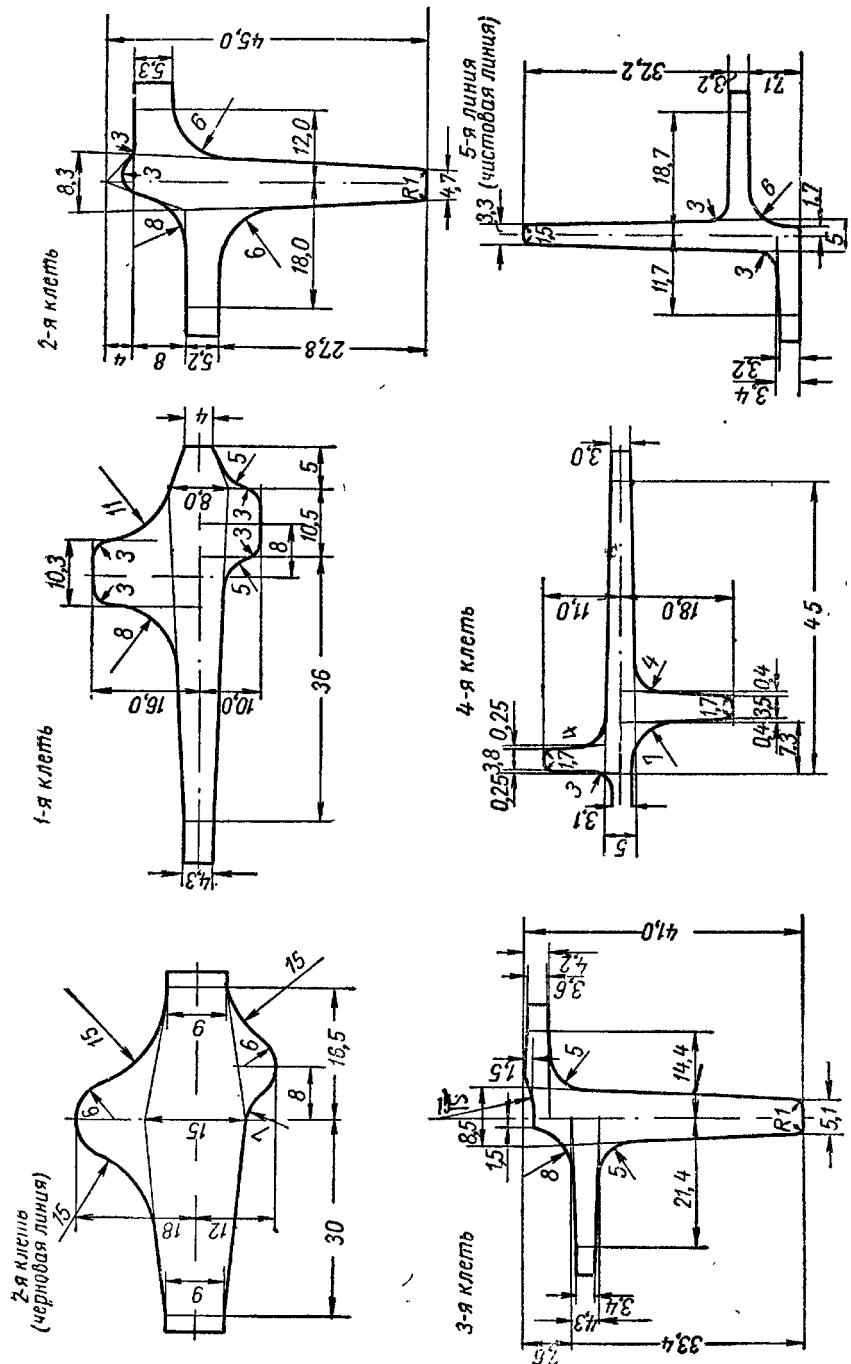
Расчетные данные калибровки профиля № 2 сведены в табл. 4. Радиусы закруглений, величина выступа в колокольном калибре второй клети и форма соединения наружных граней полок выбираются конструктивно.

На рис. 24 представлены окончательные размеры калибров для прокатки тонкостенного профиля № 2. Более высокая точность, которая может получиться для шаблонов чистовых

Таблица 4

№ калибра	Номерная марка калибровки	Номер калибра	Стенка						Короткая полка						Длинная полка											
								k	H м.м.	d м.м.	c м.м.	F м.м. ²	P м.м.	a_1 м.м.	a м.м.	F м.м. ²	P м.м.	b_1 м.м.	n_1 м.м.	n м.м.	F м.м. ²	P м.м.	b м.м.	n м.м.	F м.м. ²	P м.м.
								Коэффициент дифференции	Коэффициент дифференции	Коэффициент дифференции	Коэффициент дифференции	Коэффициент дифференции	Коэффициент дифференции	Коэффициент дифференции	Коэффициент дифференции	Коэффициент дифференции	Коэффициент дифференции	Коэффициент дифференции	Коэффициент дифференции							
5	262	1,06	—	42,5	5,0	3,3	177	1,02	1,21	9,7	3,4	3,2	32	1,12	16,55	3,2	3,2	53	1,15							
4	277	1,37	1,7	45,0	5,0	3	180	1,55	—	9	4,2	3,8	36	1,17	16,0	4,2	3,5	61	1,13							
3	380	1,09	—	41	8,5	5,1	279	1,05	1,38	11	4,1	3,6	42	1,1	18,0	4,2	3,4	69	1,12							
2	415	1,23	—	45	8,3	4,7	292	1,08	1,98	8,75	5,3	46	1,57	14,75	5,2	5,2	77	1,73								
1	521	—	1,95	51,5	8,0	4,3	316	—	—	6,9	10,5	10,5	72	—	19,2	10,3	10,3	133	—							

Расчетные данные калибровки тонкостенной тавровой стали № 2 со смещениями полками



продукции сварные балки будут успешно конкурировать с прокатанными двутавровыми балками, в первую очередь с широкополочными. В табл. 5 приведено сравнение моментов инерции и сопротивления примерно равных по весу 1 пог. м обычных двутавровых балок (ГОСТ 8239—56) и широкополочных (ГОСТ 6183—52).

Таблица 5

Сопоставление моментов инерции и сопротивления
обычных и широкополочных балок

Балки	1 вес. м кг	I_x , см^4	W_x , см^3	I_y , см^4	W_y , см^3
Двутавровая № 30 . . .	36,5	7 080	472	337	49,9
Широкополочная № 33 . . .	36,8	8 880	539	672	79,1
Двутавровая № 55 . . .	88,6	54 810	1 990	1 350	150
Широкополочная № 55 . . .	90,4	59 940	2 150	2 680	243
Двутавровая № 65 . . .	119	100 840	3 100	2 170	217
Широкополочная № 65 . . .	129	122 180	3 700	5 120	410

После постройки опытного цеха сварные двутавровые балки крупных и средних размеров найдут широкое применение. В связи с этим приобретает значение разработка методов прокатки тавровой стали в открытых калибрах со свободным уширением.

Поясовые тавровые профили представляют собой разновидность тавровой стали с низкой стенкой и широкими полками и схемы их прокатки аналогичны с типовыми схемами (см. рис. 8).

В чистовом калибре наиболее выгодно вертикальное расположение стенки для спокойной и удобной работы стана и с целью обеспечения наилучшей формы тавровых поясов. При вертикальном расположении стенки форма ее торцовой поверхности в зависимости от предъявляемых требований может иметь острые и закругленные углы или же форму треугольника с некоторым скруглением угла при вершине. Разнообразные формы торцовой поверхности позволяют использовать самые рациональные режимы сварки. Кроме того, в чистовом калибре ребрового типа полки профиля могут прокатываться с незначительным уклоном или совсем без уклона. Уклон граней стенки не имеет особого значения и на увеличение веса профиля почти не влияет, так как высота стенки, и тем более прямые участки ее, очень малы.

Транспортировка профиля по рольгангам и на холодильнике при стенке, врезанной в верхний валок, не вызывает затруднений. Расположение стенки в нижнем валке чистовой клети с целью улучшения работы валковой арматуры нецелесообразно, поскольку при значительной ширине полок, а соответственно и

широких выводных проводках, заклинивания профиля не происходит.

Хотя в чистовом калибре ребрового типа возможно прокатывать тавровые пояса с полками постоянной толщины, однако уклон граней полок готового профиля и, как правило, внутренних граней не является независимым и связан с общей шириной полок. Если в качестве примера взять широкополочные двутавровые балки, то по ГОСТ 6183—52 максимальная общая ширина их полок составляет 408 мм, а для колонных профилей 422 мм. При прокатке тавровых поясов для балок этого типа в предчистовом пластовом калибре необходимо предусматривать уклон боковых граней полок не менее 1,0—1,5%, что дает разность между толщиной полок у основания и на конце около 4—6 мм. Таким образом, чтобы получить полки постоянной толщины без уклона, необходимо в чистовом калибре применять повышенное обжатие, которое устранит эту разнотолщинность.

Если по условиям работы данного стана повышенное обжатие в чистовой клети нежелательно, а иногда просто невозможно, то следует при разработке калибровки два последних калибра — предчистовой и чистовой — проектировать ребровыми и распределять между ними обжатие полок, сглаживающее уклон их боковых граней.

Применяется и другой способ получения широкополочных тавровых поясов с постоянной толщиной полок. Полки выравнивают в ребровом калибре, предшествующем предчистовому. Тогда из предчистового калибра будет выходить тавровый раскат с полками постоянной толщины. В этом случае калибр выполняет роль ребрового, как и при прокатке полос. При этом потребуется только один чистовой калибр ребрового типа, а не два, как по первому варианту. Для тавровых профилей с небольшой шириной подошвы при получении полок постоянной толщины трудностей не возникает.

В качестве исходного сечения заготовки при прокатке тавровых поясов можно использовать прямоугольник, квадрат, ромб или овал. Выбор исходного сечения заготовки зависит от отношения общей ширины полок к высоте стенки, и при увеличении этого отношения следует переходить от квадратного сечения к ромбу, а затем к прямоугольнику.

Наилучшим из этих сечений для широкополочных тавровых поясов является ромб при первом профильном калибре ребрового типа. Из ширины ромба формируются полки профиля, а из его высоты стенка. При применении ромба становится возможным уменьшить неравномерность деформации по проходам. В первом профильном калибре при высокой температуре применяют большое обжатие, чтобы получить раскат с массивной и сравнительно длинной стенкой. При этом в последующих проходах удается избежать большой утяжки стенки и тем самым облегчить разработку калибровки и прокатку данного профиля.

Прямоугольное же сечение требует более неравномерной деформации и должно применяться только для тавровых поясов с очень низкой стенкой.

Величина утяжки полок в пластовых и стенки в ребровых калибрах, а также и уширение выбираются при расчете калибровки в зависимости от соотношения площадей элементов и формы таврового профиля. Например, при прокатке тавровых поясов с низкой стенкой и широкими полками наблюдается максимальная утяжка высоты стенки в ребровых калибрах. Наоборот, в пластовых калибрах для профилей с низкой стенкой утяжки полок не наблюдается, вследствие их большой площади по сравнению с площадью стенки. В последнем случае стенка, имея малую

площадь, не вызывает утяжки полок, а получает повышенное вынужденное уширение.

Основной трудностью при прокатке тяговых поясов является получение стенки необходимых размеров. Так как площадь стенки обычно мала по сравнению с площадью полок, в ребровых калибрах нужно за-

Рис. 26. Размеры и допуски профиля для сварных двутавровых балок

даваться повышенной утяжкой стенки. Высота стенки должна получаться за счет ее вынужденного уширения в калибрах пластового типа. Первый профильный калибр желательно проектировать колокольного типа, тогда в следующем за ним ребровом калибре легче получить длинную стенку.

В качестве примера рассмотрим калибровку низкостенного таврового профиля для прокатки на стане 550 (см. рис. 18). Размеры и допуски готового профиля (ГОСТ 6183—52), предназначенногодля изготовления сварных балок, приведены на рис. 26. Высота стенки и форма ее торцовой поверхности приняты ориентировочно ввиду отсутствия сортамента на тавровые пояса. Уклон граней стенки равен 1,5 %. Допускаемые отклонения по высоте стенки сокращены в три раза из расчета одинаковых допусков на два тавровых профиля и среднюю листовую часть, из которых составляется сварная балка.

Для прокатки данного профиля тонкостенной тавровой стали крупных размеров принимаем типовую схему IV (см. рис. 8) при изменении исходного сечения с квадратного на ромбическое. Общее число проходов примерно равно 11.

Бокового обжатия в закрытых ручьях всех фасонных калибров, за исключением первого по ходу прокатки, не предусматриваем. В предчистовом калибре пластового типа уклон граней полок принимаем равным 1,5%. Разность по толщине у основания

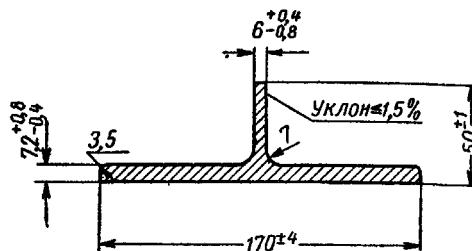


Рис. 26. Размеры и допуски профиля для сварных двутавровых балок

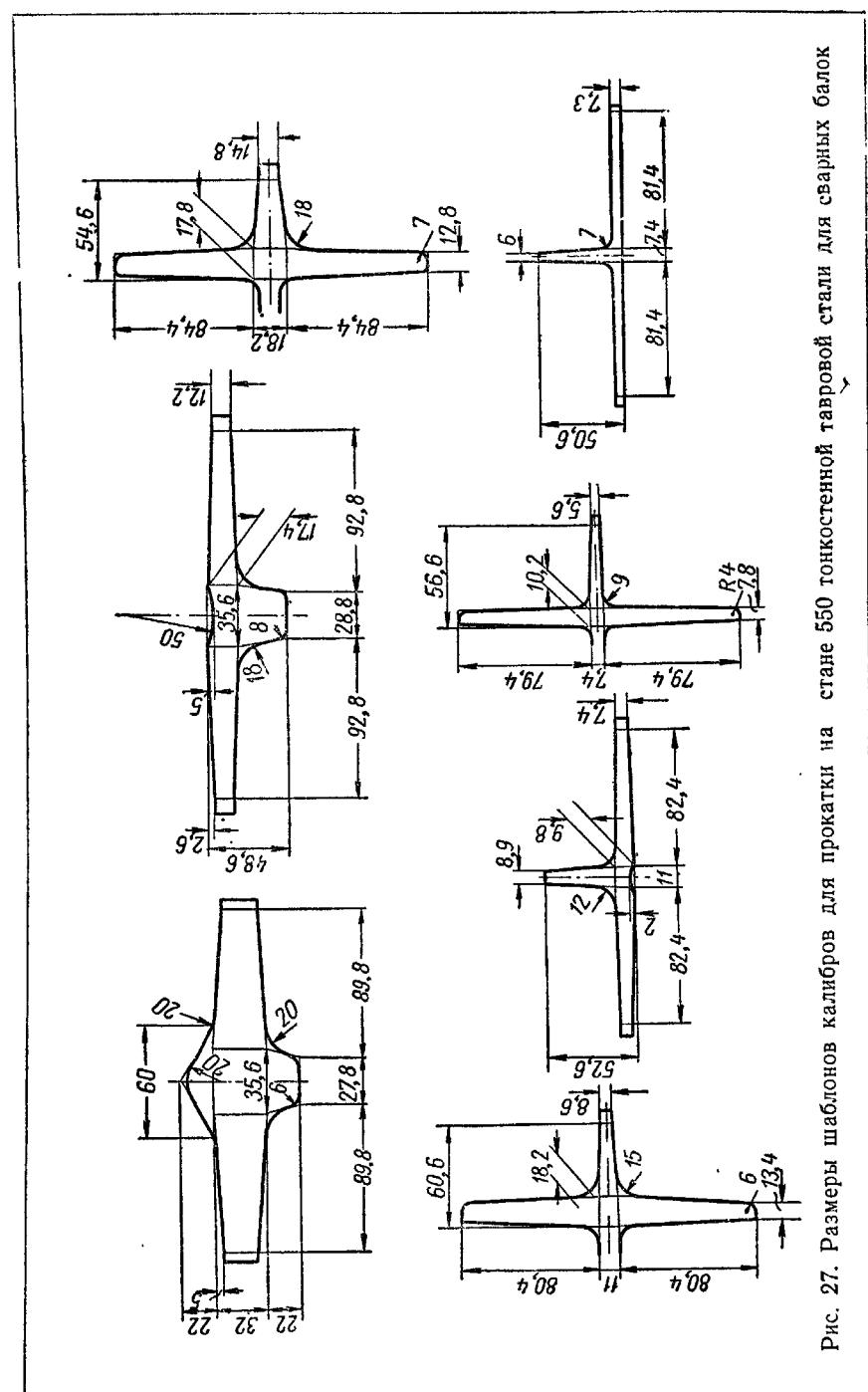


Рис. 27. Размеры шаблонов калибров для прокатки на стане 550 тонкостенной тавровой стали для сварных балок

и на конце каждой полки составляет 2,4 мм. Так как общий допуск на ширину подошвы большой и равен 8 мм, то в чистовом калибре возможно предусмотреть обжатие полок у основания для выравнивания их толщины более 2,4 мм, не опасаясь изменения ширины подошвы из-за колебания уширения.

Среднее обжатие полок в чистовом калибре составляет 1,3—1,5 мм, что не превышает допускаемого по прочности прокатных валков.

Таким образом, вполне достаточно одного чистового калибра с вертикальным расположением стенки. Размеры шаблонов калибров для прокатки тонкостенной тавровой стали 170×50×7,2×6 мм представлены на рис. 27. Размеры исходного ромба равны 200×90 мм. С точки зрения процесса деформации и получения необходимых размеров готового профиля прокатка в открытых калибрах со свободным уширением тонкостенных и широкополочных тавровых поясов для сварных двутавровых балок не сопровождается какими-то особыми трудностями. По этому методу можно прокатывать тавровую сталь с шириной полок, значительно превышающей ширину полок двутавровых балок, прокатываемых на обычных существующих станах. Прокатка этих профилей в балочных калибрах нецелесообразна и в большинстве случаев невозможна.

Во избежание нарушений сплошности металла вследствие резкой разницы в величинах площадей различно деформируемых элементов профиля не следует располагать друг за другом более двух подобных калибров. В последних проходах необходимо стремиться производить кантовку полос.

Г л а в а 9

РАСПОЛОЖЕНИЕ КАЛИБРОВ НА ВАЛКАХ. ВАЛКОВАЯ АРМАТУРА И ПРОКАТНЫЕ ВАЛКИ

Для тавровых профилей монтаж калибров в валках производится таким образом, чтобы нейтральная линия калибра совпадала со средней линией валков. Нейтральная линия определяется по центрам тяжести контуров калибра с учетом условий деформации в закрытых ручьях. Для разновидностей тавровой стали сложной формы можно использовать и другие способы определения нейтральной линии.

Для пластовых калибров, если профиль имеет некоторую асимметричность относительно оси стенки, с целью упрощения не обязательно точно определять нейтральную линию, так как выход полосы из валков мало изменяется даже при защемлении полок, имеющих незначительную площадь по сравнению со стенкой. В ребровых калибрах, как уже указывалось, обычно предусматривают давление со стороны закрытого ручья. Подобного правила придерживаются и при монтаже пластовых калибров.

Для тавровых калибров по условиям их работы нет необходимости в буртах, которые увеличивают первоначальный диаметр валков. Однако на практике в тех калибрах, где взаимная установка верхнего и нижнего валков должна быть точной, на краях валков устраивают небольшие замки (рис. 28), облегчающие настройку.

Смещение валков относительно друг друга особенно нежелательно в пластовых предчистовых калибрах. Если, например, при прокатке тавровой стали 75×75×8 мм (см. рис. 20) в предчистовом калибре произойдет смещение валков, то полоса со смещенными по оси стенки полками, попадая в чистовой калибр, претерпевает ненормальную деформацию. В результате полки на готовом профиле будут иметь различную ширину. При этом

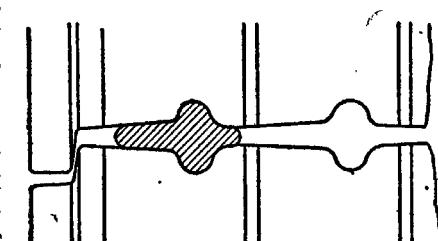


Рис. 28. Расположение калибров на валках одной из клетей стана 250 для прокатки тавровой стали

ширина полки, которая в предчистовом калибре была смещена в сторону конца стенки, уменьшится. У другой полки, наоборот, наблюдается увеличение ширины по сравнению с предчистовым калибром. Если валки смещаются в черновых калибрах пластового типа, то в следующих по ходу прокатки калибрах ребрового типа также получается различная ширина полок. Уменьшение ширины одной из полок может оказаться настолько значительным, что в предчистовых пластовых калибрах не произойдет ее обжатия (осадки) в закрытых ручьях и на готовом профиле ширина полки выйдет из минусового допуска.

В ребровых калибрах смещение валков сказывается, хотя и в меньшей степени, в тех случаях, когда открытый валок имеет вогнутую или выпуклую поверхность. Смещение валков в колокольных калибрах при задаче полосы в последующий ребровый калибр обусловливает в нем различную ширину полок за счет выпуклости колокольного калибра. Происходит прирост ширины той полки, в сторону которой смещается выпуклость.

В ребровых калибрах с вогнутостью наружной грани подошвы смещение валков сказывается на неправильном заполнении последующего пластового калибра, в котором уширение не компенсируется и наблюдается переполнение в разъеме валков со стороны наружных граней полок. Отсюда и повышенное вынужденное уширение полок в следующем калибре. Таким образом, как для ребровых, так и для пластовых калибров, особенно при прокатке тонкостенной стали, необходимы боковые замки.

Зазоры между крайними буртами валков одной клети не должны превышать 0,2—1,5 мм при рабочем положении валков. Между калибрами не обязательно наличие буртов, за исключением тех случаев, когда необходима точная установка выводных проводок.

По сравнению с расчетными размерами обычно ширину калибров несколько увеличивают, что предотвращает образование заусенцев на концах полок в ребровых и на конце стенки в пластовых калибрах.

Валковая арматура при прокатке тавровой стали в открытых калибрах со свободным уширением имеет обычно несложную конструкцию и состоит, как правило, из вводных пропусков и выводных линеек. В первых черновых калибрах вместо пропусков можно иногда устанавливать только боковые линейки, обеспечивающие точное направление раската в калибр.

Вводные пропуска состоят из двух половин, вставляемых в приемную коробку. Конфигурация их рабочей поверхности совершенно подобна форме задаваемого раската. Место разъема пропусков и их крепление в приемной коробке, а соответственно и регулировка, выбираются в зависимости от условий работы стана.

Выводные проводки работают в более тяжелых условиях, так как должны обеспечить прямой выход полосы из валков при

надлежащем качестве прокатываемых полос. При защемлении стенки в закрытом ручье ребрового калибра наблюдается повышенное давление на проводку. Защемление может произойти при отклонениях от схемы прокатки, нарушении технологии, пониженней температуре прокатываемых полос и т. д. Если при этом средняя часть проводки слишком тонка, то возможен ее изгиб или даже поломка.

Выходная проводка в ребровых калибрах со стороны закрытого ручья делается с особой тщательностью и подгоняется по валкам или по специальным шаблонам. Большие зазоры между средней частью проводки и боковыми гранями закрытого ручья очень вредны при прокатке. Положение проводки становится неопределенным и она может смещаться в ту или другую сторону по направлению оси валка. При смещении проводки ее боковые части, соответствующие полкам калибра, перекрывают закрытый ручей. Передний конец полосы при выходе из очага деформации упирается в проводку. В результате прокатываемая полоса напрессовывается между проводковым бруском и прокатными валками или защемляется в валках и оковывает их.

Слишком плотное расположение средней части проводки в закрытом ручье ребрового калибра может привести к задиркам на поверхности валка. Для точного центрирования выводных проводок относительно калибров, в первую очередь ребровых, на валках часто предусматривают небольшие буртики, расстояние между которыми постоянно и равно ширине проводки.

У выводных проводок для закрытых ручьев ребровых калибров быстрее изнашивается средняя часть, соответствующая стенке профиля. В связи с этим можно делать проводки составными, скрепляя между собой отдельные части заклепками, что облегчает их изготовление.

В пластовых калибрах условия работы выводных проводок значительно легче. Сильно обжимаемая стенка имеет большую площадь. Пластовые калибры чаще всего симметричны относительно горизонтальной оси. Выходящая полоса не защемляется каким-то одним валком. Эти проводки лучше делать цельными с таким расчетом, чтобы при выходе из валков полки профиля торцовой поверхностью не касались поверхности проводок.

Схема расположения пластового калибра на валках и положение проводок представлены на рис. 29. Боковая часть проводки, соответствующая полкам, устраняет опасность перекрытия калибра. Если торцевые поверхности полок касаются проводки, то на ней в процессе прокатки налипает металл и на полосе об-
5*

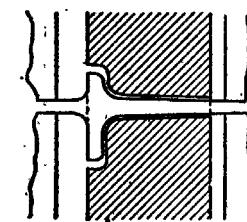


Рис. 29. Расположение калибра на валках для прокатки тавровой стали и положение выводных проводок

разуются царапины. При образовании царапин в предчистовом калибре они сохраняются и на готовом профиле, так как в чистовом калибре ребрового типа полки имеют свободное уширение. Кроме того, царапины могут являться началом продольных трещин. В пластовых симметричных калибрах для тавровой стали с длинной стенкой можно ограничиваться прямыми проводками.

В настоящее время большое значение приобретает роликовая арматура, особенно для прокатки тавриков из легированной стали.

Таблица 6

Химический анализ металла чугунных валков для прокатки тавровой стали

Валки	Содержание элементов, %							Твердость по Шору	Глубина отбеленного слоя, м.м.
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni		
Мелкосортные, калиброванные и гладкие, отбеленные	До 3,6	0,2—0,8	0,4—0,8	До 0,55	До 0,14	—	—	60—68	15—30
Магниевые, среднесортные с перлито-цементито-графитовой структурой, легированные . .	До 3,6	0,8—2,1	0,5—1,0	До 0,3	До 0,02	0,4—0,8	0,8—1,4	45—55	—

От стойкости калибров и характера их износа зависит не только производительность стана, но и качество готового проката. Наибольшее распространение получили валки из чугуна с отбеленной поверхностью для прокатки мелких тавриков и из магниевого чугуна с перлито-цементито-графитовой структурой для тавровой стали средних размеров. Химический анализ чугунных валков приведен в табл. 6. Недостатком применения чугунных валков с отбеленной поверхностью является резкое падение твердости при больших врезах закрытых ручьев. Поэтому наблюдается повышенная выработка в глубине закрытых ручьев. В связи с этим желательно использовать профицированные валки, внедрению которых препятствует малая ширина закрытых ручьев.

Стальные валки, за исключением обжимных клетей, применяются редко, так как несколько охлажденный конец раската оставляет на валках вмятины. При прокатке горячих полос наблю-

дается налипание и наваривание на поверхности калибров частичек металла. Вмятины и навары на валках дают отпечатки на прокате. Кроме того, стальные валки обычно имеют меньшую износостойкость и дороже чугунных.

Комбинированное использование валков, что иногда встречается в производственных условиях, нежелательно. В черновых клетях для улучшения захвата применяют один стальной валок, а другой чугунный. Хотя захват и улучшается, но различный износ чугунного и стального валков приводит к быстрому изменению размеров полосы и требует частой смены калибров.

ПРИЛОЖЕНИЯ

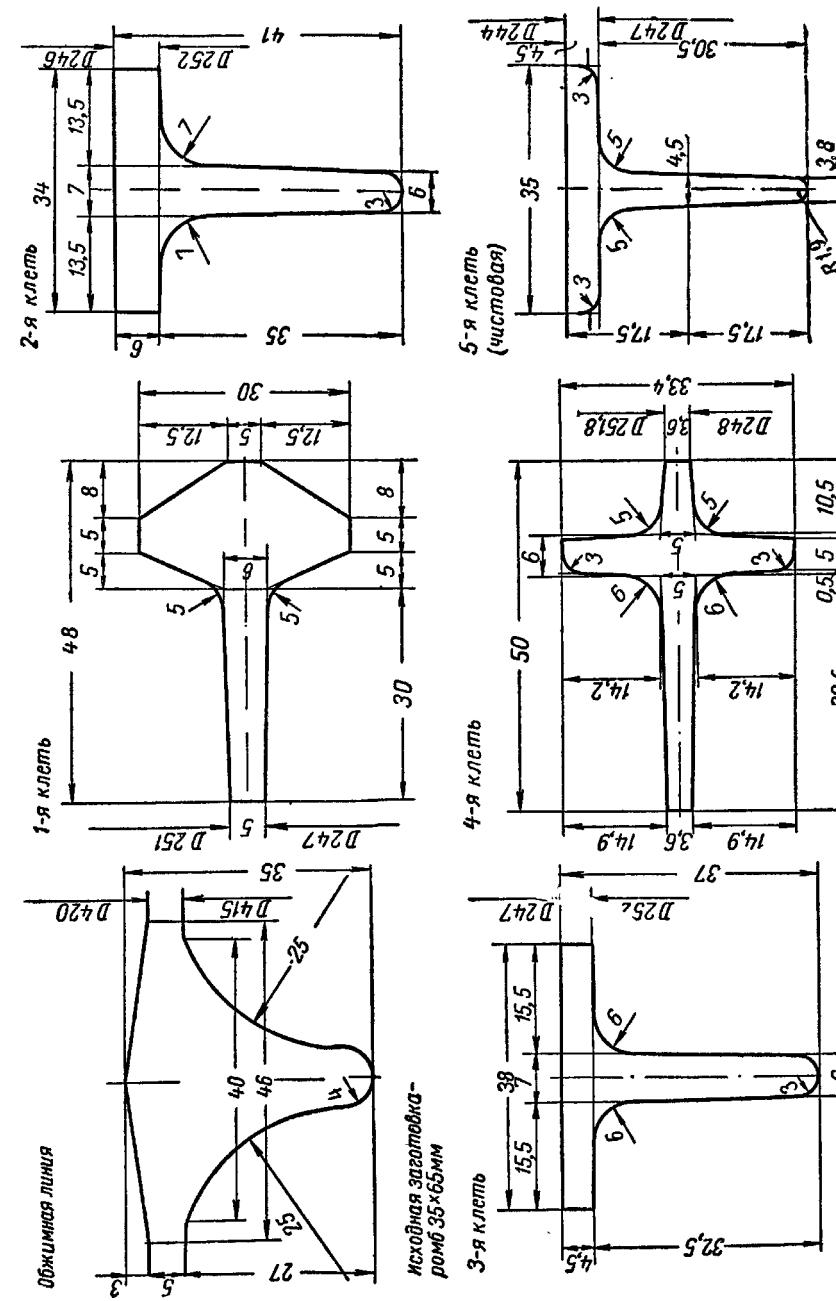


Рис. 30. Размеры шаблонов для прокатки профиля оконного переплета № 3 (ОСТ 10029—39) на стане 240.

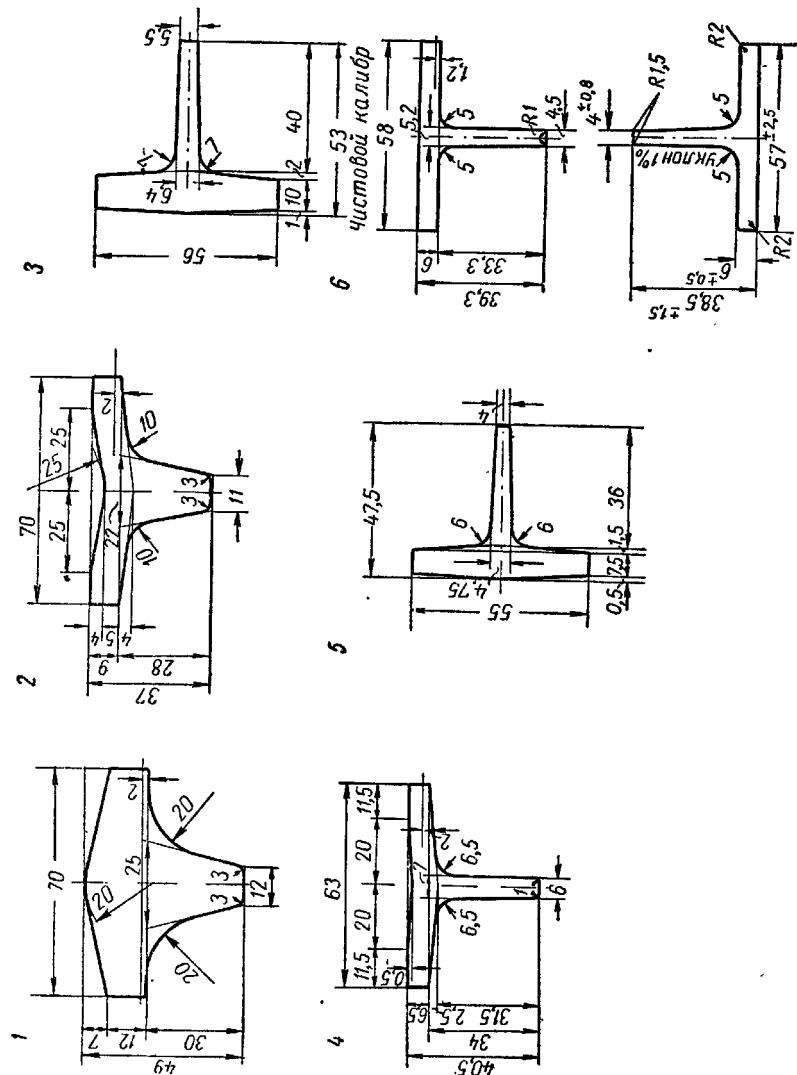


Рис. 31. Размеры готового профиля и размеры шаблонов калибров при прокатке тавровой стали 57×38, 5×6×4 мм на стане 500:
1 — 6 — номера калибров

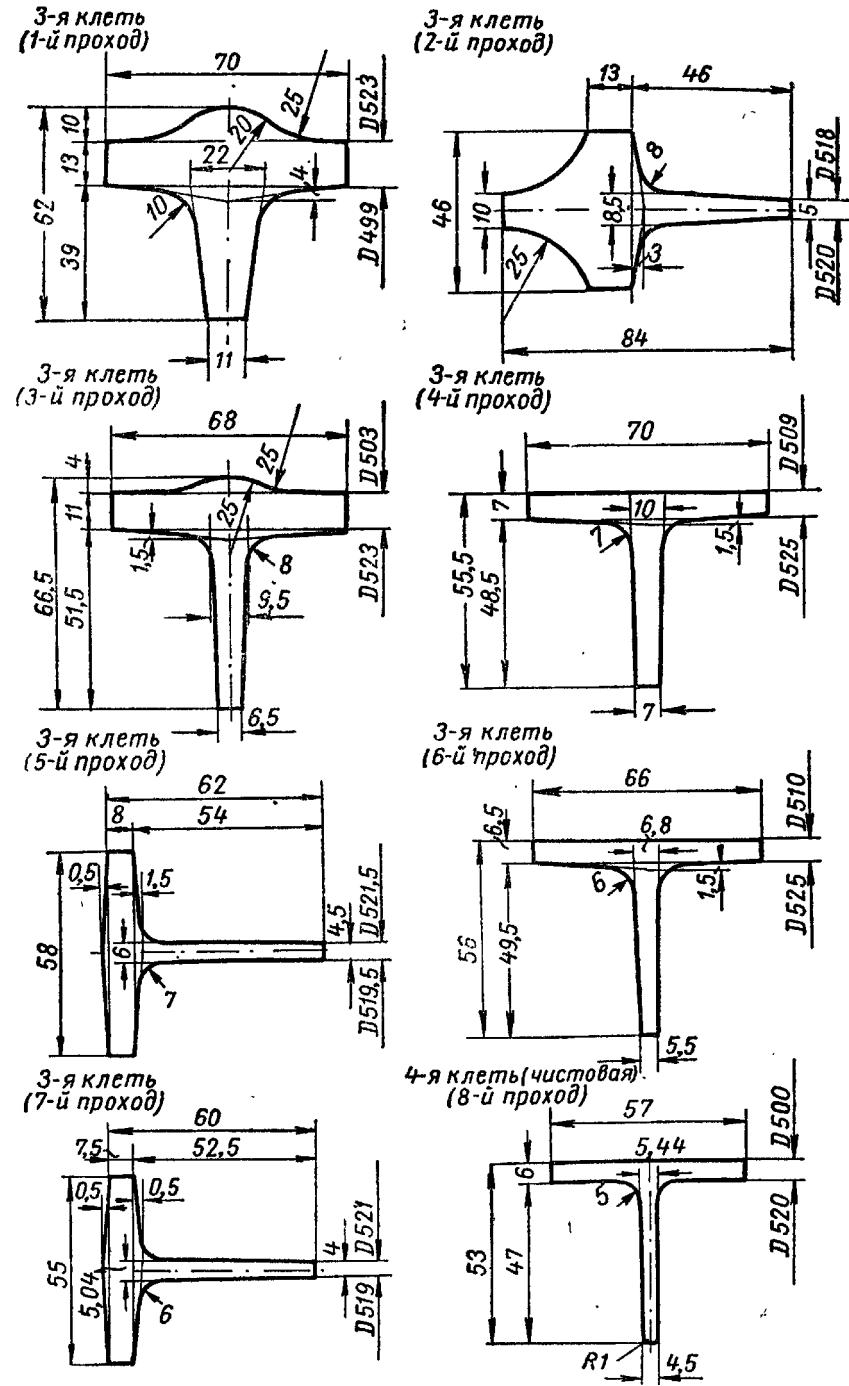


Рис. 32. Размеры шаблонов для прокатки тавровой стали 56×52×6×4 мм на стане 500

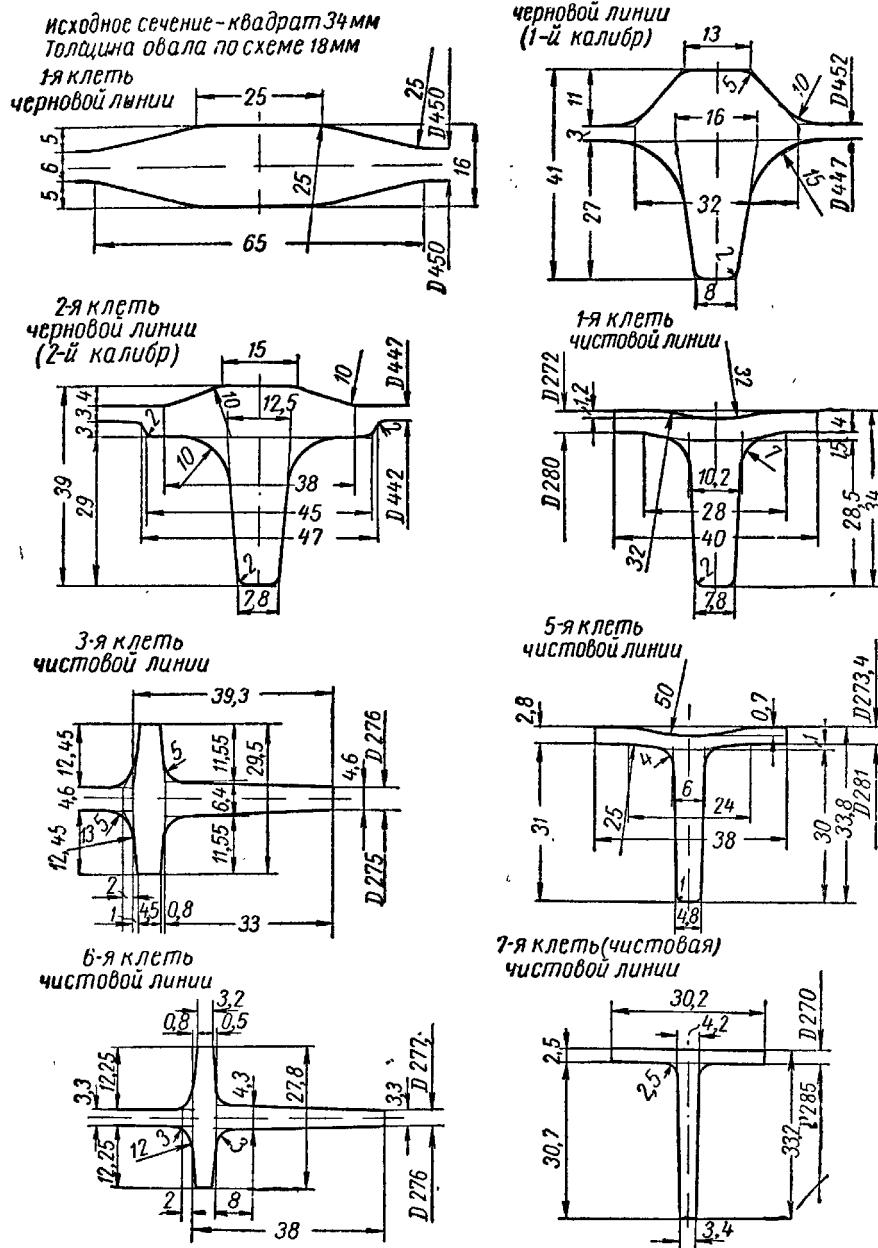


Рис. 33. Размеры шаблонов для прокатки тавровой стали $30 \times 30 \times 2,5 \times 3,5$ мм на стане 280

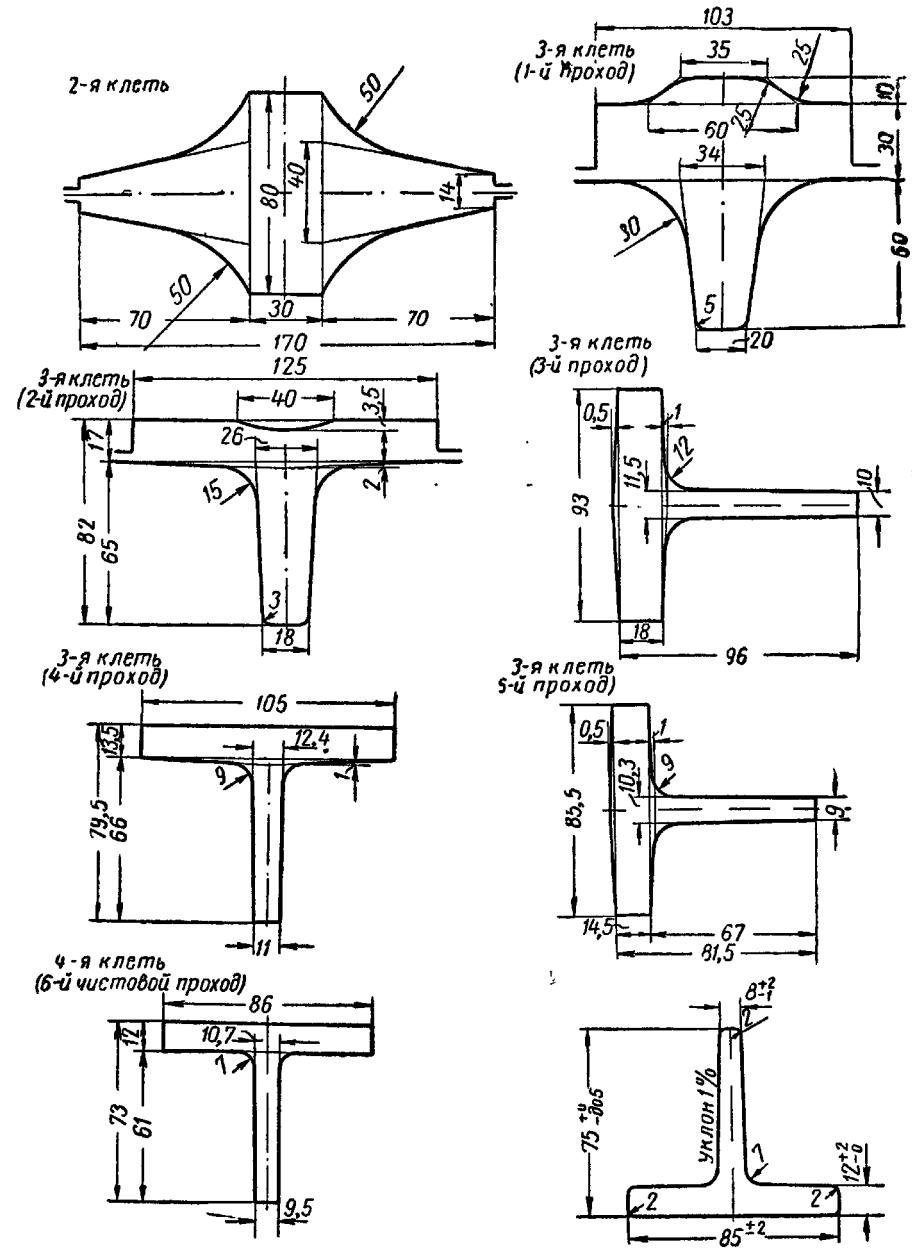


Рис. 34. Размеры готового профиля и шаблонов для прокатки тавровой стали $85 \times 75 \times 12 \times 8$ мм на стане 500

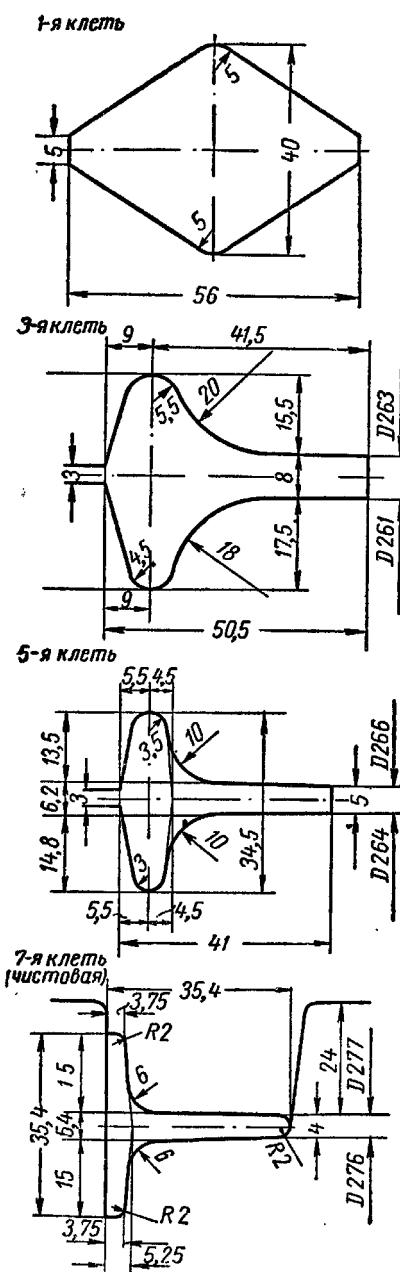


Рис. 35. Калибровка профиля оконного переплета № 3 (ОСТ 10029—39) с пластовым расположением чистового калибра для прокатки на стане 260

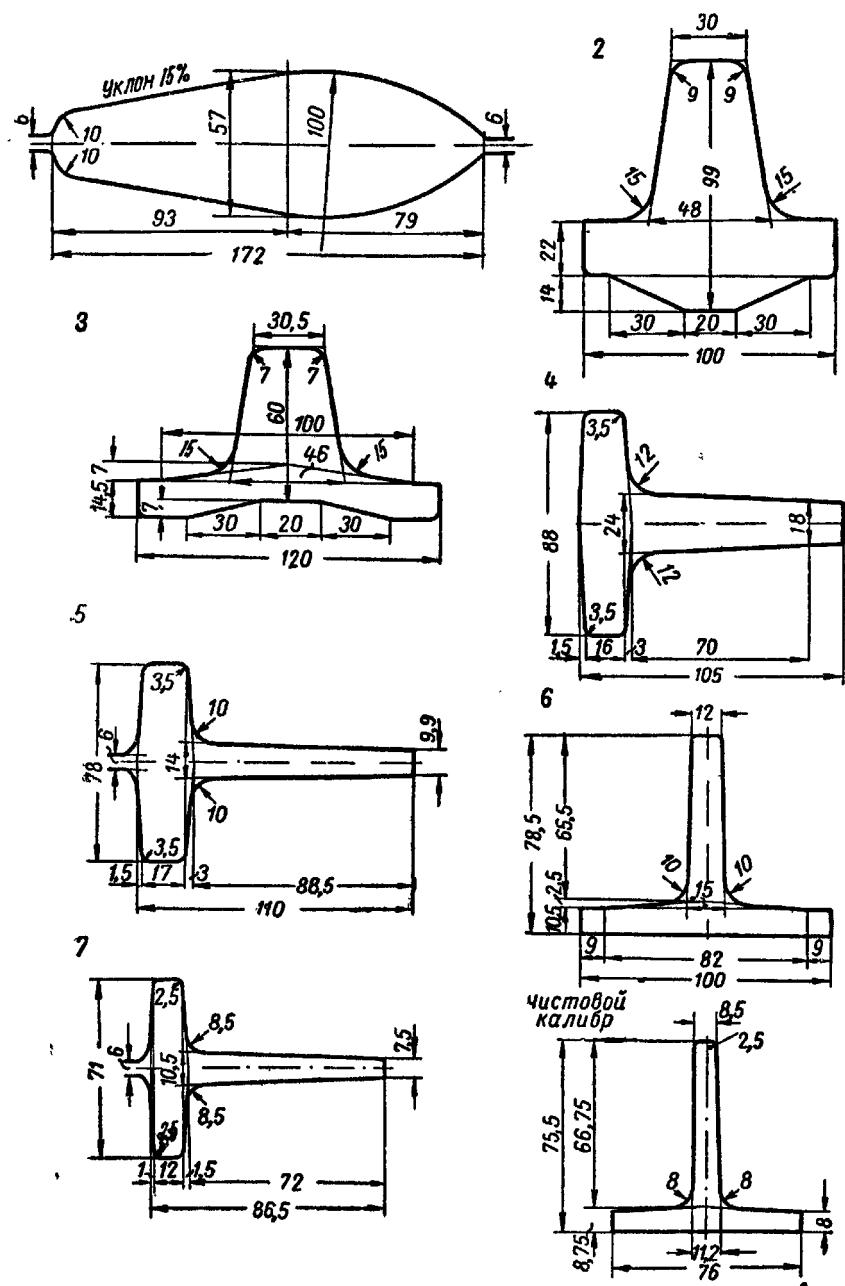
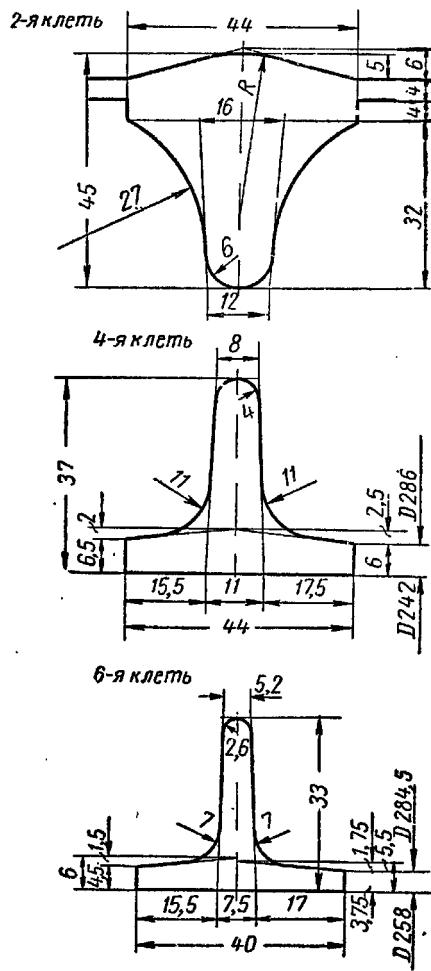


Рис. 36. Размеры шаблонов для прокатки тавровой стали 75×75×8 мм на стане 500:
1 — 7 — номера калибров

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. П. Бахтинов и М. М. Штернов. Калибровка прокатных валков. Металлургиздат, 1953.
2. Н. С. Стрелецкий. Курс металлургических конструкций. Гос. издательство строительной литературы, ч. 1, 1940.
3. А. П. Виноградов и Г. А. Виноградов. Калибровка прокатных валков. Металлургиздат, 1950.
4. П. И. Полухин. Прокатка и калибровка двутавровых балок. Металлургиздат, 1956.
5. В. Тафель. Прокатка и калибровка. Гостехиздат, 1931.
6. Д. И. Старченко. Развернутая калибровка фланцевых профилей. Металлургиздат, 1952.
7. В. Тринкс. Калибровка прокатных валков, ч. 2, ОНТИ, 1935.
8. Н. Мец. Горячая прокатка и калибровка валков. Гостехиздат, 1937.
9. Б. П. Михайлов. ИндустрIALIZАЦИЯ металлического строительства, Стройиздат Наркомстроя, 1939.
10. С. Н. Филиппов. Настройка прокатных станов. Металлургиздат, 1951.
11. Л. Жез. Калибровка валков. Техника и производство, 1929.
12. И. Я. Тарновский. О неравномерной деформации полосы при прокатке. Сталь, № 5. 1941.
13. И. Я. Тарновский. Формоизменение при пластической обработке металлов. Металлургиздат, 1954.
14. И. Я. Тарновский, А. А. Поздеев, В. Б. Ляшков. Деформация металла при прокатке, Металлургиздат, 1956.
15. И. Я. Тарновский, А. А. Поздеев, О. А. Гонаго. Деформация и усилия при обработке металлов давлением. Машгиз, 1959.
16. Л. М. Качанов. Основы теории пластичности. Гостехтеориздат, 1956.
17. П. В. Зaborский. Калибровка и прокатка тавриков из легированной стали. Сталь, № 7—8, 1946.
18. Б. М. Илюкович. Прокатка и калибровка тавровых профилей облегченного типа для переплетов промышленных зданий. Труды межвузовской научно-технической конференции, 1958.
19. Каталог горячекатанных фасонных профилей. Металлургиздат, 1958.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Г л а в а 1. Общие положения	3
Г л а в а 2. Методы прокатки тавровой стали	9
Прокатка в закрытых калибрах	9
Прокатка в открытых калибрах	13
Г л а в а 3. Выбор исходной заготовки и числа проходов	17
Г л а в а 4. Типовые схемы прокатки тавровой стали	20
Г л а в а 5. Прокатка профилей, подобных тавровой стали	26
Г л а в а 6. Расчет сечения исходной заготовки для ребровых калибров	29
Г л а в а 7. Конструирование тавровых калибров и настройка стана	31
Г л а в а 8. Примеры калибровки тавровой стали	44
Калибровка тавровой стали	44
Калибровка тавровой стали со смешенными полками	52
Калибровка тавровых поясов для сварных балок	59
Г л а в а 9. Расположение калибров на валках. Валковая арматура и прокатные валки	5
Приложения	71
Литература	78

Автор

ИЛЮКОВИЧ Будимир Михайлович

Редактор издательства *В. М. Горобинченко*
Технический редактор *М. К. Аттолович*
Обложка художника *С. А. Смирнова*

Сдано в производство 27/VI 1961 г.

Подписано в печать 13/IX 1961 г.

Бумага 60 × 90^{1/16} бум. л. = 2,50 печ. л. 5,0
Уч.-изд. л. 4,41

Т.09339

Тираж 2400

Заказ 1422

Цена 15 коп.

МЕТАЛЛУРГИЗДАТ
Москва 34, 2-й Обыденский пер. 14

Типография Металлургиздата
Москва, Цветной б. 30