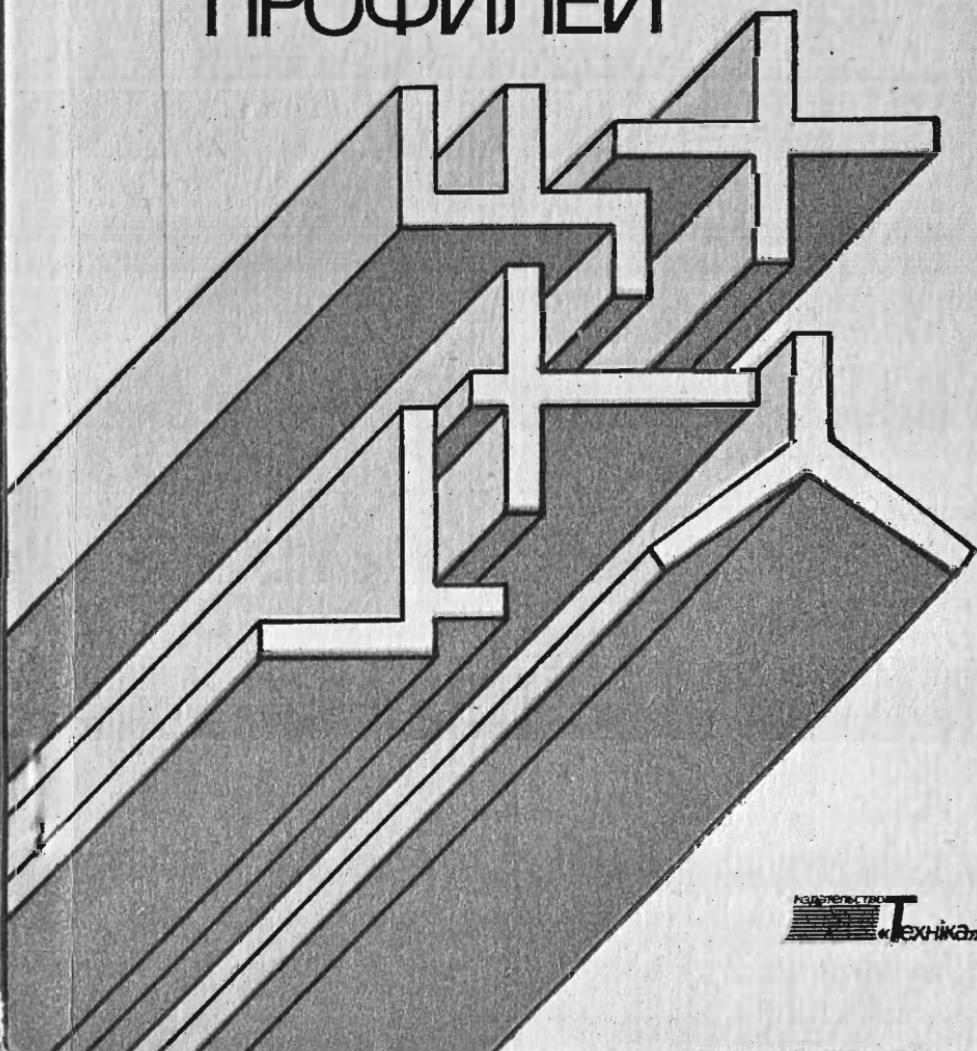


ПРОКАТКА и КАЛИБРОВКА ЭКОНОМИЧНЫХ ТАВРОВЫХ ПРОФИЛЕЙ



качество
Техника

ПРОКАТКА
И КАЛИБРОВКА
ЭКОНОМИЧНЫХ
ТАВРОВЫХ
ПРОФИЛЕЙ

КИЕВ
«ТЭХНИКА»
1990

ББК 34.621
П80
УДК 621.77

ПРЕДИСЛОВИЕ

Авторы: Б. М. Илюкович, Н. Е. Нехаев, Л. Н. Левченко,
М. А. Лойферман

Рецензенты: д-р техн. наук А. П. Грудев, канд. техн. наук
Г. П. Борисенко

Редакция литературы по тяжелой промышленности
Зав. редакцией О. Л. Яковлева

Прокатка и калибровка экономичных тавровых профилей/Б. М. Илюкович, Н. Е. Нехаев, Л. Н. Левченко, М. А. Лойферман.—К.: Техника, 1990.—151 с.
ISBN 5-335-00719-2

Освещены вопросы совершенствования технологии прокатки, повышения экономичности и качества тавровых профилей. Приведены различные схемы прокатки и калибровки, формулы для расчета формоизменения профилей в пластовых, ребровых и крестообразных калибрах. Даны практические рекомендации по конструированию калибров и проектированию валковой арматуры.

Рассчитана на инженерно-технических работников металлургических предприятий, научно-исследовательских и проектных организаций, может быть полезна студентам металлургических вузов.

П 2607010000-090
М202(04)-90 81.90

ББК 34.621

ISBN 5-335-00719-2 © Илюкович Б. М., Нехаев Н. Е., Левченко Л. Н., Лойферман М. А., 1990

В решении проблемы улучшения качества и увеличения выпуска эффективных видов металлопродукции большого внимания заслуживает систематическое расширение сортамента сортового проката, которое в последние годы происходило в результате освоения новых профилей отраслевого назначения, применяемых в небольших количествах для конкретных машин, механизмов и сооружений. Применение таких профилей возросло в автомобильной промышленности в 2 раза, в тракторном и сельскохозяйственном машиностроении в 2,8, в строительном, дорожном и коммунальном машиностроении в 3, в судостроении в 1,5, в тяжелом и транспортном машиностроении в 2 раза.

Наряду с расширением сортамента эффективным средством экономии черных металлов является приближение формы прокатываемых профилей к форме готовых изделий, позволяющее снизить трудоемкость их изготовления, уменьшить отходы металла и сократить парк металлорежущих станков.

Постоянно усложняется сортамент прокатываемых профилей. Многие новые профили не имеют аналогов среди освоенных, и поэтому для их прокатки необходимо разрабатывать новые методы калибровки и применять новые процессы изготовления.

Расчеты калибровок сложных профилей требуют большого инженерного искусства и занимают много времени. По данным УкрНИИМета, освоение нового фасонного профиля требует двух-трех опытных прокаток, потери времени при которых составляют от 8 до 20 ч, а производственные потери достигают 800—4000 т.

Несмотря на издание в последнее время ряда руководств и справочников по калибровке прокатных валков, все еще отсутствует систематизированное обобщение опыта проектирования калибровок многих групп профилей. К таким профилям относится обширный класс фасонных экономичных тавровых профилей, которым и посвящена данная книга.

В предлагаемой книге по прокатке фасонных профилей для машиностроения приведены методы расчета калибровок, схемы прокатки и результаты освоения новых профилей. Широко использован опыт работы калибровщиков на металлургических заводах, в том числе и опыт самих авторов.

Авторский коллектив выражает благодарность калибровщикам и технологам металлургических заводов за помощь в подборе калибровок и практические советы. Авторы также благодарят сотрудников отраслевой лаборатории прокатки Днепродзержинского индустриального института им. М. И. Арсеничева тт. Крячко М. Н. и Яровую Т. В. за активное участие в подготовке рукописи.

Отзывы и пожелания просим направлять по адресу: 252601, Киев, 1, ул. Крещатик, 5. Издательство «Техника».

ГЛАВА 1 ТАВРОВЫЕ ПРОФИЛИ

СОРТАМЕНТ ТАВРОВЫХ ПРОФИЛЕЙ

Одним из показателей уровня техники и технологии прокатного производства является сортамент проката. Рациональное использование металла и уменьшение его отходов в значительной степени зависит от применяемых профилей, их размеров и марок стали.

Сортамент проката содержит большое количество профилей и профилеразмеров тавровой стали. Кроме того, имеются профили специального назначения, которые хотя и несколько отличаются по форме от тавровой стали, но прокатываются по тем же схемам. К таким профилям относится тавровая сталь с местными утолщениями стенки и полок, крестообразная сталь равного сопротивления или несимметричная относительно какой-либо оси, тавровые профили для полюсов электродвигателей, тавровые профили со смещенными полками для фонарных и оконных переплетов промышленных зданий, декоративные тавровые профили для строительства и т. д.

В строительстве, сельском хозяйстве, на железнодорожном транспорте и в 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, обычно заменяется двумя равнобокими или неравнобокими углками. Однако применение в этом случае угловых профилей приводит к удорожанию конструкций, так как усложняются монтажные работы и увеличивается расход металла [2].

Поперечное сечение тавровой стали обычного типа состоит из стенки (ножки) и двух полок (подошвы) и имеет размеры, мм, обозначенные на рис. 1: H — высота профиля (стенки); B — ширина профиля (подошвы); c — толщина полок на конце; d — толщина стенки у конца; r_1 — радиус закругления концов полок; r_2 — ра-

радиус закругления концов стенки; r_3 — радиус соединения стенки с полками.

Размеры симметричной тавровой стали при обозначении профиля обычно записываются в такой последовательности: $B \times H \times c \times d$ мм; если $c = d$, то тавровый профиль обозначается $B \times H \times c$ мм. Возможны закругления концов полок и со стороны подошвы.

Тавровая сталь прокатывается, как правило, с постоянной толщиной полок. Боковые грани стенки обычно имеют уклон, составляющий от 1 до 10 %. В последние годы был предложен [3] и получил распространение способ прокатки тавровой стали с постоянной толщиной стенки и полок на двухвалковых станах. На стане 260 металлургического завода им. Коминтерна были освоены оконнорамные профили № 5П и № 6П и тавровый профиль $39 \times 34 \times 3,0 \times 3,2$ мм для тормозных колодок легкового автомобиля «Запорожец» с постоянной толщиной стенки и полок.

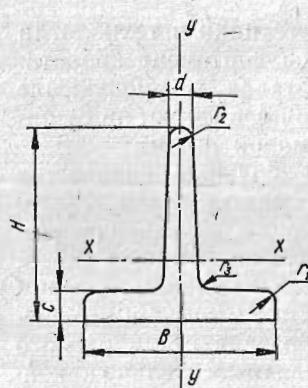


Рис. 1. Профиль тавровой стали.

В работе [4] приведена с точки зрения калибровки классификация существующего сортамента сложных профилей, прокатываемых в двухвалковых калибрах. Предложенная классификация позволяет облегчить поиск необходимой технологической группы для нового профиля и рекомендовать принципиальную схему калибровки.

В основу классификации профилей специального и отраслевого назначений положены следующие критерии: каждая группа включает профили аналогичной формы с размерами одного порядка; профили каждой группы имеют аналогию по симметрии профиля (с двумя осями симметрии, с вертикальной осью симметрии, с горизонтальной осью симметрии, асимметричные); профили одной группы имеют принципиальную общность схемы калибровки; отношение ширины профиля к высоте в каждой группе задано в определенных пределах.

Технологические группы подобных по форме готовых профилей объединены в классы. Предложенная классификация включает шестнадцать классов, которые охватывают 43 технологические группы.

Согласно приведенной классификации все профили тавровой формы в зависимости от особенностей их прокатки подразделены на следующие 3 технологические группы (группы 23, 24 и 25): группа 23 — профили тавровой формы с массивными элементами (рис. 2, а); 24 — профили крестообразной формы с одной или двумя осями симметрии (рис. 2, б); группа 25 — тавровые профили с равнотолщинными элементами (рис. 2, в).

Стальные конструкции и требуемые для них профили проката широко используются в строительстве зданий и сооружений. Промышленные здания являются наиболее емкими по капиталовложениям и сложными по технико-экономическому взаимодействию конструкций из разных материалов. Радикальное повышение технического уровня стальных конструкций и их заводского производства связано с изменением структуры поставляемого строительству проката, организацией производства новых видов проката особо экономичных профилей. К этим профилям относятся горячекатаные широкополочные тавры, сварные бистальные и обычные двутавры с поясами из широкополочных тавров.

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

В автомобильной промышленности находят применение тавровые профили с постоянной толщиной стенки и полок для изготовления тормозных колодок автомобилей.

В Польше для производства мелкоразмерной опалубки, применяемой при изготовлении строительных конструкций из бетона, разработан [5] сложный тавровый профиль «Акрон». Преимуществом такой опалубки (рис. 3) по сравнению с деревянной является возможность ее многократного использования (200—400 раз вместо 1—2 раз при обычной конструкции).

Первоначальный вариант калибровки профиля «Акрон» предусматривал формирование профиля из заготовки квадратного сечения за 9 проходов. Для контроля ширины профиля применяли ребровой предчистовой калибр. Однако из-за интенсивного скручивания раскатов, обусловленного неравномерным обжатием гребня (стенки) и кромок полотна, предчистовой ребровой калибр заменили пластовым. Опытное опробование второго варианта калибровки показало, что скручивание раскатов наблюдалось уже в чистовом калибре вследствие различия в обжатии левой и правой частей профиля.

В окончательном варианте (рис. 4) вместо пластового применили калибр, имеющий промежуточную форму между ребровым и пластовым калибрами. Это позволило улучшить качество профиля благодаря более равномерной деформации.

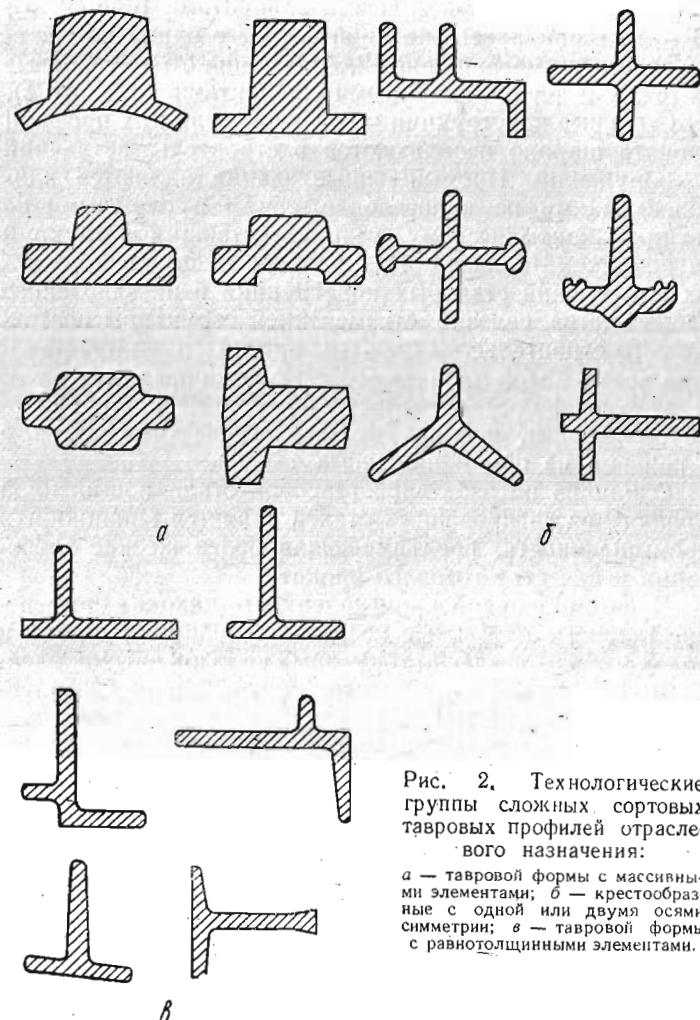


Рис. 2. Технологические группы сложных сортовых тавровых профилей отраслиского назначения:

а — тавровой формы с массивными элементами; б — крестообразные с одной или двумя осями симметрии; в — тавровой формы с равнотолщинными элементами.

номерной деформации раската. Опыт Польской республики в производстве профиля «Акрон» рекомендован для распространения в странах — членах СЭВ.

На рис. 5 представлен профиль направляющей кабины лифта, который ранее получали [6] из горячекатаного

Рис. 3. Мелкоразмерная опалубка, изготовленная из профиля «Акрон»,

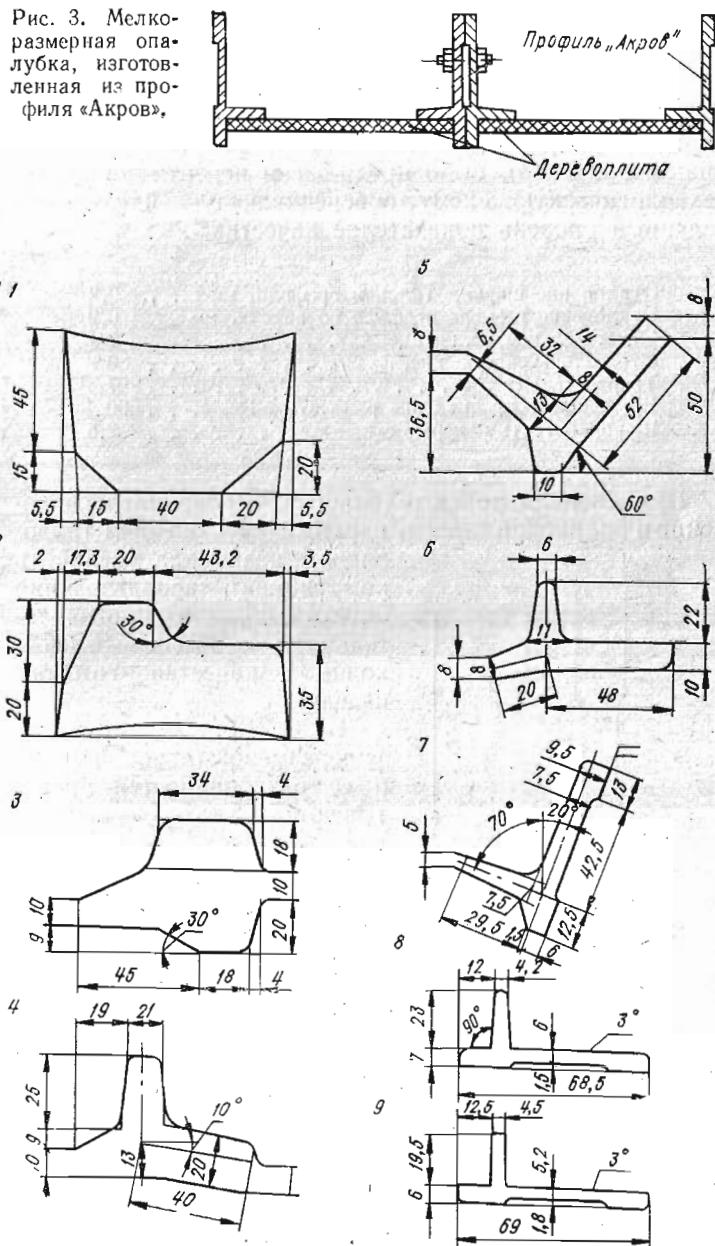


Рис. 4. Калибровка профиля «Акрон» для мелкоразмерной опалубки.

фасонного подката механической обработки головки профиля с трех сторон на фрезерных станках. В связи с тем что такая технология имела недостатки (повышенная шероховатость рабочих поверхностей, несоответствие заданных и фактических размеров профиля с учетом допусков), было предложено перейти на новую технологическую схему, обеспечивающую следующий заданный уровень показателей качества:

Отклонение ширины головки профиля, мм . . .	0,2
Отклонение размера профиля по высоте, мм	0,2
Относительное удлинение, %	7
Относительное сужение, %	30
Твердость НВ	207
Временное сопротивление разрыву, МПа	500
Шероховатость поверхности, мкм	2,5

Примененная новая технология, основанная на волочении в роликовой волоке, наряду с уменьшением трудоемкости позволила увеличить коэффициент использования металла, повысить производительность и обеспечить необходимое качество готового изделия.

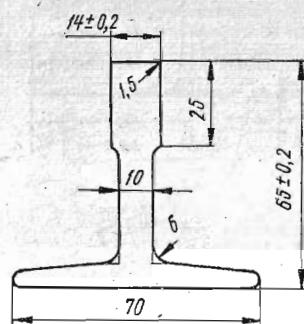


Рис. 5. Профиль направляющей кабины лифта.

по ГОСТ 7511—73 (пять горячекатанных тавровых профилей для оконных и фонарных переплетов и оконных панелей промышленных зданий), по ГОСТ 1292.3—72 (тавровый профиль 75 × 75 × 8 для сельскохозяйственных машин), по ГОСТ 3710—68 (20 тавровых симметричных и несимметричных тавровых профилей из легированной конструкционной высококачественной стали марок 30ХГСА и 30ХГСНА для авиастроения) и т. д.

В работе [4] приведен действующий с 1925 г. сортамент тавровых профилей с общей шириной полок, равной высоте стенки и половине высоты стенки. Максимальная

ширина полок составляет 200 мм, минимальная — 15 мм. Представляют интерес применяемые допускаемые отклонения по отдельным элементам профилей:

Общая ширина полок	Допуск по ширине полок и высоте стенки, мм	Допуск по толщине стенки и полок, мм
До 50 мм	±1	±0,5
От 50 до 100 мм	±1,5	±0,75
От 100 до 150 мм	±2,0	±1,0
Свыше 150 мм	±4,0	±1,25

За последние годы существенно обновился и расширился сортамент прокатной продукции в нашей стране, в том числе и сортамент тавровой стали. В то же время, в передовых капиталистических странах сортамент сортового проката как общего, так и специального назначения шире, чем в СССР, причем прокатывается

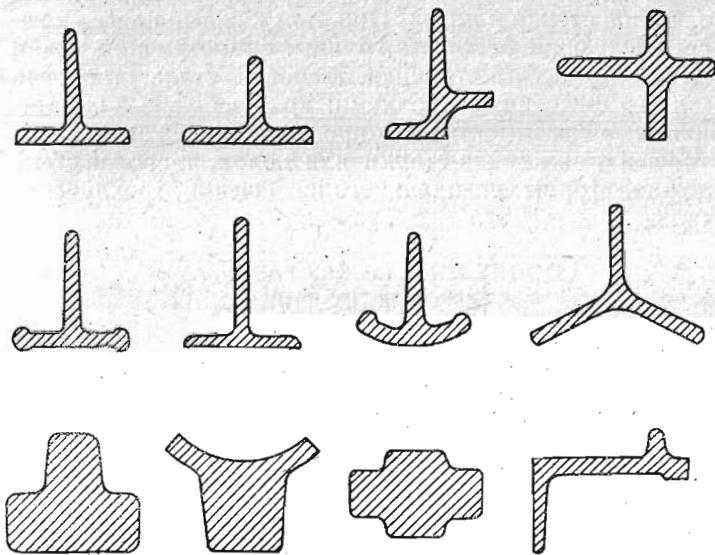


Рис. 6. Разновидность тавровой стали.

большое количество профилей сложной конфигурации. Например, в сортаменте западногерманской фирмы «Клекнер» большую долю занимают тавровые профили: высокие, средние и низкие как с закругленными, так и с острыми узлами. Отдельные тавровые профили имеют довольно сложную конфигурацию. Всего тавровых профилей в сортаменте более 500. В сортаменте фирмы «Онайтед Стейтс Корпорейшн» имеется 92 тавровых

профиля и 148 оконнорамных. На заводах люксембургской фирмы «Дифертанже» прокатывались для сварных балок отдельные тавровые элементы высотой от 30 до 900 мм [3].

На металлургических заводах ФРГ производство тавровой стали составляет значительную часть в производстве специальных профилей. Так, например, с 1965 по 1975 г. только симметричной тавровой стали размерами от 20×20 мм до 50×50 мм ежегодно в среднем производилось 36 454 т, в том числе тавровой стали 20×20 мм — 922 т, 25×25 мм — 2524 т, 30×30 мм — 6653 т, 35×35 мм — 5318 т, 40×40 мм — 9260 т, 45×45 мм — 2905 т и 50×50 мм — 8172 т.

По размерам и форме поперечного сечения тавровую сталь и ее разновидности можно разделить на два класса: 1) тавровая сталь с одинаковой или почти одинаковой толщиной стенки и полок; 2) тавровая сталь с разной толщиной стенки и полок. При этом каждый класс включает следующие основные группы: симметричная тавровая сталь; несимметричная тавровая сталь; тавровая сталь со смещенными полками; крестообразные симметричные и несимметричные профили, тавровая сталь с утолщениями концов стенки или полок, тавровая сталь сложной формы специального назначения, трехлучевая сталь.

СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ РАЗМЕРАМИ ТАВРОВЫХ ПРОФИЛЕЙ

Тавровая сталь и ее разновидности в большинстве случаев являются полуфабрикатами для изготовления из них различных конструкций. Трудозатраты в процессе производства этих профилей, а также на последующих этапах изготовления конструкций зависят при данном уровне развития производительных сил от формы профилей. Чем меньше суммарные трудозатраты на ту или иную конструкцию, тем, очевидно, рациональней форма профиля для данной конструкции.

Трудозатраты на профили определяют преобладающую долю в себестоимости 1 т различных конструкций. Например, в стальных каркасах промышленных зданий они составляют около 70 %. Поэтому в случае отсутствия учета трудозатрат на различных этапах производства в общем случае за приближенный показатель суммарных трудозатрат может быть принята масса или цена конструкции.

Степень рациональности (по массе) размещения площади (материала) в сечении независимо от его размеров и формы характеризуется численными значениями удельного момента сопротивления и удельным радиусом инерции. Однако форма профилей специального назначения, к которым относятся тавровая сталь и ее разновидности, в значительной степени определяется конструктивным назначением, теоретический анализ рациональности по массе играет вспомогательную роль.

Конъюнктурная экономичность профилей проката должна устанавливаться на основе цен. Однако цена тонны прокатной стали не может быть показателем экономичности профиля, так как при этом не учитывались бы качества профиля с точки зрения его несущей способности. Наиболее правильно экономичность профилей, работающих в условиях сжатия, растяжения и изгиба, определять ценой 1 м длины профиля в заданных условиях его работы. При анализе на основе цен необходимо учитывать как весовые, так и прочностные характеристики стали.

В некоторых работах прокат с точки зрения экономичности характеризуется отношением массы 1 м того или иного профиля к показателям его прочности (моменту сопротивления).

Основная задача экономического анализа отдельных профилей сводится к установлению относительной экономичности любых двух сравниваемых профилей, которая может быть определена величиной относительного перерасхода в цене при применении одного профиля вместо другого.

Экономическая эффективность расширения сортамента проката и улучшения его качества может определяться в соответствии с типовой «Методикой определения экономической эффективности повышения качества промышленной продукции» [8].

Так как тавровая сталь прокатывается преимущественно в соответствии с техническими условиями и ГОСТами на специальные профили (единий ГОСТ отсутствует), то соотношения между размерами профиля (рис. 1) изменяются в довольно широких пределах (табл. 1).

Размеры отдельных элементов тавровой стали и соотношения между ними являются основными факторами при выборе схемы прокатки, исходной заготовки и числа фасонных калибров.

Различие в толщинах стенки и полок для данного профиля тавровой стали оказывает большое влияние на

1. Соотношения между размерами отдельных элементов тавровой стали

Профиль	H/B	d/H	c/B	d/o
Тавровая симметрическая сталь	0,30—1,50	0,08—0,65	0,05—0,30	0,65—2,75
Тавровая несимметрическая сталь	0,35—0,75	0,10—0,30	0,08—0,16	0,54—1,10
Тавровая сталь специального назначения	0,20—0,95	0,14—2,55	0,05—0,4	0,90—5,95
Для оконных и фонарных переплетов и оконных панелей промышленных зданий	1,0—1,46	0,08—0,095	0,085—0,14	1,0

образование внутренних напряжений после прокатки при охлаждении готового проката. При охлаждении на холодильнике тавровой стали с тонкой стенкой и массивными полками вначале охлаждается стенка, полки профиля претерпевают пластическую деформацию, так как температура их сравнительно высока. При дальнейшем охлаждении профиля уменьшению размеров полок в направлении длины полосы препятствует уже остывшая стенка. В результате возникают внутренние напряжения — растягивающие в полках и сжимающие в стенке профиля. Величина этих напряжений зависит не только от отношения толщины элементов профиля, но 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, что затрудняет их транспортировку, резку и другие технологические операции. В случае слишком большой разницы в толщинах отдельных элементов тавровых профилей не исключено и нарушение сплошности металла с образованием рванин и трещин. Если тавровые профили еще и несимметричны относительно оси стенки, то при охлаждении происходит не только изгиб (искривление) полос, но и скручивание их по длине.

При проектировании стальных конструкций механизмов и машин наблюдается тенденция к рационализации формы тавровой стали, уменьшению допускаемых отклонений толщины стенки и полок с целью экономии

металла и облегчения массы. Так, например, применение облегченных тавровых профилей для оконных и фонарных переплетов с толщиной стенки и полок, равной 3,3 мм, освоенных на Чусовском металлургическом заводе и металлургическом заводе им. Коминтерна, обеспечило экономию металла до 20 % и значительную экономию топлива, так как уменьшились потери тепла зданиями. Дальнейшее уменьшение массы оконнорамных профилей достигнуто за счет перехода на заводе им. Коминтерна на прокатку этих профилей с постоянной толщиной стенки и полок. Дополнительная экономия массы при этом составляет 7—8 %.

Широкое применение находит симметричная тавровая сталь с закруглениями и острыми кромками, разнополочная, разнотолщинная, тавровая сталь сложной формы и др. Институтом электросварки им. Е. О. Патона и ВНИИмтмашем был предложен способ [9] поточного производства экономичных сварных двутавровых балок из специальных низкотавровых прокатных профилей для полок и листового проката для стенок, соединяемых индукционной высокочастотной сваркой.

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

При прокатке тавровой стали процесс неравномерной деформации происходит в сложных скоростных и силовых условиях. Вследствие этого расчет режима обжатий, выбор схемы прокатки, расчет уширения и конструирование калибров должны основываться на надежных теоретических или экспериментальных формулах с учетом накопленного производственного опыта прокатки тавровой стали.

Задача калибратора заключается не только в получении профиля, соответствующего ГОСТ или ТУ, но и в обеспечении высокой производительности стана, снижении себестоимости готового проката, возможности наиболее полной механизации и автоматизации технологического процесса. Так, например, усовершенствование технологического процесса прокатки тавровой стали и других профилей осуществлено на стане 260 металлургического завода им. Коминтерна. Вначале на этом линейном стане, чистовая линия которого состояла из

пяти клетей типа переменное дуо, была освоена [10] калибровка тавровой стали с использованием в первых трех клетях чистовой линии открытых калибров. При передаче раската к чистовой линии исключена кантовка раската и установлен обводной аппарат для передачи фасонного раската из первой клети чистовой линии по вторую. Уже в период освоения новой калибровки производительность стана повысилась в среднем на 15 %, а выход вторых сортов снизился на 38 %. В дальнейшем стан был реконструирован [10; 11]. По новой схеме клети II и III, а также клети IV и V чистовой линии расположены последовательно и в них осуществляется непрерывная прокатка. Раскат из клети I в клеть II и из клети III в клеть IV передается по обводным аппаратам. Прокатка тавровой стали производится в открытых калибрах со свободным уширением. Процесс прокатки, таким образом, полностью механизирован.

При разработке калибровки необходимо учитывать особенности конкретного стана, так как метод прокатки, давший хорошие результаты, например, для стана с линейным расположением клетей, может оказаться непригодным для полунепрерывного и непрерывного станов. В процессе работы стана калибровки должна непрерывно развиваться и совершенствоваться. Большое значение при этом имеет изучение работы калибров и наблюдение за их износом с учетом всех изменений в сопротивлении стана.

Рационализация профилей проката с целью повышения их экономичности должна проводиться в двух направлениях: по линии экономии металла и уменьшения механической обработки у потребителя и в направлении снижения трудоемкости производства.

ГЛАВА 2

МЕТОДЫ ПРОКАТКИ ТАВРОВОЙ СТАЛИ

ПРОКАТКА ТАВРОВОЙ СТАЛИ В ЗАКРЫТЫХ КАЛИБРАХ БАЛОЧНОГО ТИПА

Прокатка тавровой стали и других профилей подобной формы может производиться с использованием закрытых калибров балочного типа. Некоторые калибровки и схемы прокатки тавровой стали с использованием балочных калибров приведены в работах [12; 13].

На рис. 7, а представлен один из наиболее распространенных вариантов калибровки, который раньше дли-

тельное время применялся в качестве типовой схемы при прокатке тавровой стали средних и крупных размеров на станах линейного типа. Этот метод имеет существенные недостатки, которые ограничивают область его применения и в основном сводятся к следующему [2]. В первых двух фасонных калибрах вследствие неравномерного обжатия по ширине происходит изгиб полосы в сторону менее обжимаемой части. Величина изгиба зависит от соотношения площадей участков с неравномерным обжатием и от значений коэффициентов обжатия и их соотношения. Наибольший изгиб полосы наблюдается в первом калибре, где происходит первоначальное

формирование профиля из заготовки прямоугольного или квадратного сечения. Для обеспечения прямолинейного выхода полосы из валков приходится устанавливать хорошо закрепленные длинные выводные линейки и проводки утяжеленной конструкции, которые из-за изгиба полосы подвержены быстрому износу. Требуется частая настройка стана, а в отдельных случаях и преждевременная замена выводной валковой арматуры, что приводит к дополнительным простоям стана. При выходе из валков задние концы полос искриваются, это затрудняет

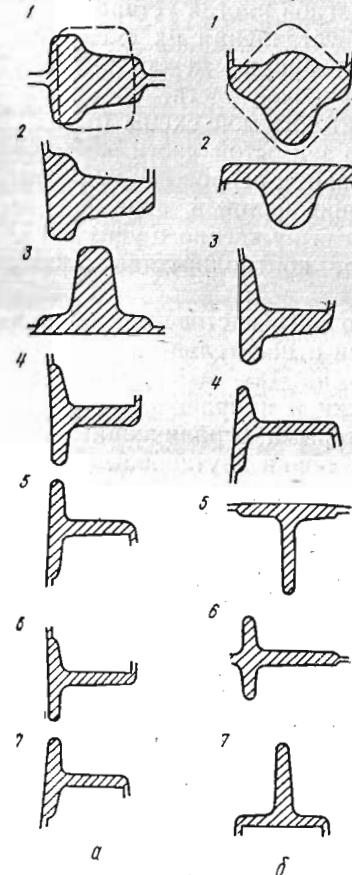


Рис. 7 Схемы прокатки тавровой стали с применением калибров балочного типа.

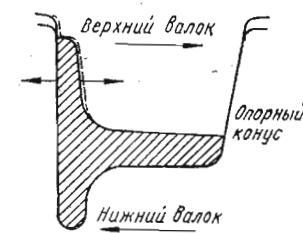


Рис. 8. Схема возникновения осевых усилий в тавровых калибрах балочного типа.

задачу полос в последующий калибр. Изгиб прокатываемых полос особенно опасен при прокатке тавровой стали больших размеров, когда возникают значительные боковые давления, сопровождающиеся резким искривлением полос, что нежелательно из соображений техники безопасности. Уменьшение последствий изгиба полос может быть достигнуто при применении роликовой арматуры. Формирующие калибры типа первого калибра на рис. 7, а используются и при прокатке тавровой стали на мелкосортных станах. Однако для мелкосортных линейных станов, особенно при работе без обводных аппаратов, влияние изгиба не столь существенно. Для предотвращения изгиба иногда устанавливают двойные линейки, а для устранения их смещения закладывают металлическую распорку между крайней линейкой и стойкой станины рабочей клети.

В третьем калиbre рассматриваемой схемы (рис. 7, а) с формированием стенки в закрытой части калибра (такие калибры обычно называются ребровыми калибрами) предусматривается утонение полок и значительное увеличение их ширины за счет вынужденного уширения. Кроме того, в этом калибре контролируется высота стенки.

Остальные калибры, включая и чистовой, являются по существу несимметричными относительно вертикальной оси балочными калибрами. Для построения этих калибров, определения утяжки и приращения ширины полок используются с некоторыми ограничениями известные методы расчета калибровки двутавровых балок [14; 15] или опытные зависимости. Боковые обжатия полок в закрытых частях калибров только в редких случаях достигают существенной величины и обычно выбираются минимальными или отсутствуют совсем, особенно в предчистовых и чистовых калибрах. Чтобы получить необходимую ширину полок, принимают их повышенную утяжку и соответственно увеличивают высоту исходной заготовки.

В калибрах балочного типа условия деформаций отдельных элементов профиля различны по длине очага деформации. Разновременность деформации приводит к неравномерности ее по длине очага деформации, которая сопровождается перетеканием металла и возникновением внутренних напряжений, причем последние могут суммироваться с напряжениями, возникающими при охлаждении металла на холодильнике.

Применяемые в настоящее время на многих метал-

лургических заводах балочные калибры с повышенным уклоном наружных граней полок (открытых до 20—22 %, закрытых до 5—8 %) смещают деформацию полок к концу очага деформации, существенно облегчают условия работы калибров и увеличивают их стойкость. При этом уменьшается расход прокатных валков и возрастает число переточек, в процессе которых, как правило, полностью восстанавливается заданная ширина калибров. Следует отметить, что и ранее для тавровых калибров балочного типа находил применение уклон наружных граней открытых полок до 14—18 %.

При прокатке тавровой стали в закрытых калибрах балочного типа возникают значительные осевые усилия (рис. 8), так как осевые давления металла на валки при обжатии 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 предусматривать на валках опорные конусы. Это требует увеличенного диаметра валков, и кроме того, уменьшает общее число калибров на валках данной клети. Кроме опорных конусов, много места вследствие глубоких врезов занимают промежуточные бурты, что дополнительно сокращает общее число калибров.

При прокатке тавровой стали в балочных калибрах по мере износа опорных конусов толщина открытой полки (рис. 8) постепенно увеличивается, вследствие чего непрерывно возрастает обжатие полки по толщине в закрытой части следующего по ходу прокатки калибра. Проволакивание со значительным обжатием вызывает защемление (заклинивание) и перемещение металла из закрытой части калибра в открытую. Защемление может сопровождаться оковыванием и поломками прокатных валков. Быстро изнашивается и выходит из строя валковая арматура, особенно при прокатке тонкостенной тавровой стали. В месте соединения стенки и полок из-за смещения основания стенки образуются закаты, которые могут быть незаметны невооруженным глазом и в ряде случаев обнаруживаются на готовом профиле только после глубокого травления. Вследствие этого в калибрах тавровой стали с использованием закрытых калибров балочного типа принцип равномерной деформации не нашел применения и толщина открытых полок предусматривается меньше толщины последующих закрытых.

Так как толщина полок в открытых частях калибра балочного типа в процессе прокатки постепенно возрастает по мере износа валков и опорных конусов, то точность расточки конусов имеет большое значение. Практически на вальцетокарных станках довольно трудно обеспечить высокую точность расточки всех опорных конусов. Поэтому можно рекомендовать для станов дуо следующий способ подгонки опорных конусов, применяемый на отдельных заводах.

Вначале при изготовлении новых валков окончательно растачивают только ручьи одного валка, ручьи второго валка растачиваются вчерне. Опорные конусы растачиваются возможно тщательнее, просвет по всей поверхности всех конусов должен быть одинаковым и минимальным. Затем этот комплект валков устанавливается в рабочую клеть стана и производится притирка опорных конусов путем прижатия валков друг к другу в осевом направлении при вращении валков вхолостую. После притирки конусов следует окончательная расточка калибров другого валка на вальцетокарном стане. Этот способ можно использовать в тех случаях, когда на прокатном стане не всегда используются все клети, что часто бывает на линейных мелкосортных станах с клетями типа переменное дуо, прокатывающих некоторые профили за разное число пропусков. Для притирки конусов можно устанавливать специальную клеть в пролете стана или в вальцетокарной мастерской. В практике отечественных заводов притирка опорных конусов использовалась для прокатки различных профилей бортовых колец, предназначенных для автомобилестроения.

Ввиду того что тавровый профиль в отличие от двутавровой балки допускает в процессе прокатки кантовку на 90°, метод калибровки, представленный на рис. 7, а, может быть несколько видоизменен с применением ребрового калибра в качестве чистового. При этом обеспечивается получение готового профиля с параллельными гранями полок, т. е. без уклона их граней. Иногда при прокатке тавровой стали с широкими и тонкими полками предусматривают ребровые калибры не только в начале и конце прокатки, но и в качестве промежуточных калибров (рис. 7, б). В такой схеме в качестве первого калибра, в котором происходит первоначальное формирование профиля, применяется ребровой калибр так называемого колокольного типа, в который задается на диагональ заготовка квадратного сечения, а иногда ромбического или овального. Общее число ребровых

калибров зависит от толщины и ширины полок: чем тоньше полки и чем больше отношение их ширины к высоте стенки, тем больше требуется ребровых калибров. Однако имеющимся в данной схеме калибрам балочного типа опять присущи отмеченные выше недостатки.

Рассмотрим два метода прокатки тавровой стали с использованием калибров балочного типа. По первому методу серии калибров балочного типа предшествует один (рис. 9, а) или несколько подготовительных ребровых калибров.

По второму методу прокатка начинается одним или двумя (рис. 9, б) подготовительными ребровыми калибрами, за которыми следует несколько калибров балочного типа. Калибр 5 снова ребровой. Предчистовой калибр — пластовый калибр открытого типа. Чистовой калибр, как всегда, ребровой.

Число проходов для прокатки тавровых профилей с использованием калибров балочного типа изменяется в зависимости от высоты стенки и ширины подошвы, а также от диаметра валков и в общем на два прохода меньше, чем для двутавровых балок той же высоты.

На рис. 10 представлены способы прокатки тавровой стали, рекомендуемой Р. Бейноном [12]. При обычной калибровке (рис. 10, а) стенка таврового профиля направлена вверх. Форма таврового профиля образуется в двух первых проходах, а в последующих проходах полученное сечение деформируется до конечных размеров.

На рис. 10, б представлена «немецкая калибровка», использующая другие принципы формообразования и требующая, по мнению Р. Бейнона, большего числа проходов, чем калибровка, рассмотренная выше.

В работе [16] в качестве типовых схем приведены калибровки тавровой стали с использованием закрытых калибров балочного типа. Опыты проводились в институте по калибровке валков (ГДР, г. Риза) на прокатных станах с диаметром валков от 300 до 500 мм. Автор [16] отмечает, что в закрытых калибрах балочного типа вследствие осевого смещения валков увеличивается толщина открытого фланга и в последующем калибре происходит защемление полосы, приводящее зачастую к оковыванию валков.

Обенно большие трудности вызвала прокатка профиля токопроводящей шины для крановых путей. Этот профиль представляет собой тавровую сталь с утолщением в виде ласточкина хвоста на конце стенки. При калибровке были использованы балочные калибры,

что и привело к значительным затруднениям при освоении профиля.

На Гурьевском металлургическом заводе при освоении тавровых профилей из легированной стали на стане 500 вначале была испытана калибровка с использованием закрытых калибрах балочного типа. Однако эта калибровка дала неудовлетворительные результаты. В закрытых калибрах выводные проводки быстро изнашивались и часто выходили из строя вследствие поломок. Происходило оковывание валков, со-

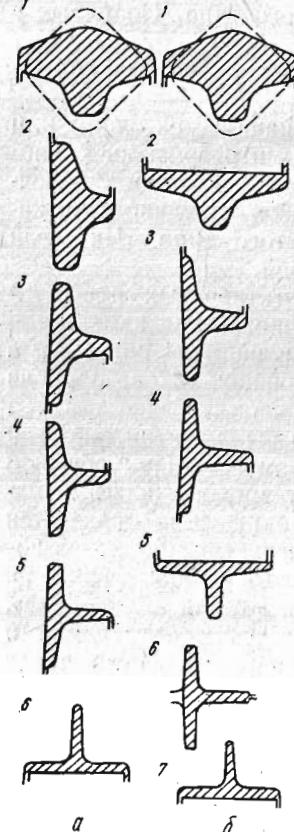


Рис. 9. Методы прокатки тавровой стали по Н. Мецу.

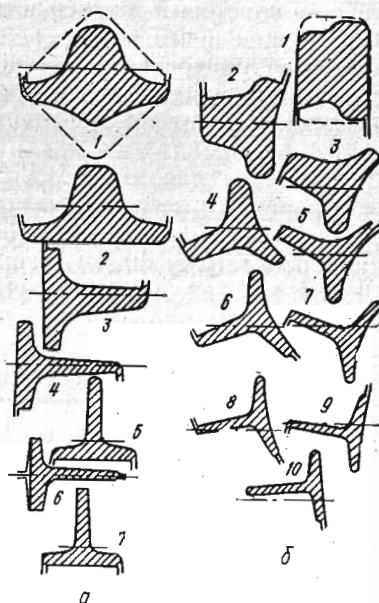


Рис. 10. Способы прокатки тавровой стали:
а — обычный; б — немецкий.

проводящееся простоиами стана. На готовом профиле вследствие сдвига в балочных калибрах основания стенки относительно полок образовывались закаты в месте соединения стенки с полками. Если закат образовывался в первых двух по ходу прокатки калибрах, то он был совершенно незаметен на готовом профиле и обнаруживался

только после глубокого травления. Окалина в балочных калибрах отставала плохо и местами вдавливалаась в металл (в особенности на наружной поверхности полок). Попытки устранить эти недостатки оказались неудачными, и от прокатки тавровых профилей из легированной стали в закрытых калибрах балочного типа пришлось отказаться.

Примерно такие же результаты были получены на металлургическом комбинате им. Дзержинского, где при прокатке таврового профиля $31 \times 38 \times 2,8$ мм отказались от калибровки с использованием балочных калибрах и перешли на прокатку в открытых калибрах со свободным уширением.

Таким образом, способ прокатки тавровой стали в закрытых калибрах балочного типа не может быть рекомендован в качестве типовой схемы для прокатки тавровой стали. В то же время некоторые видоизменения этого способа с применением ребровых калибрах можно использовать в отдельных случаях для прокатки тавровой стали как простой, так и сложной формы. Тем более, что некоторые разновидности тавровой стали получить только в открытых калибрах не представляется возможным.

На рис. 11 в качестве примера использования калибров балочного типа приведена калибровка таврового профиля $30,8 \times 35 \times 3,4$ мм для тормозной колодки новой модели легкового автомобиля «Запорожец». Калибровка испытана на линейном трехклетевом стане 300. Исходное сечение — круг диаметром 25 мм. Калибровка разработана для условий непрерывного четырехклетевого стана 300 Череповецкого сталепрокатного завода. Размеры темплетов калибров после прокатки: ширина подошвы (общая ширина полок) в калибрах 1, 2, 3 и 4 соответственно 23,3 мм, 20,7 мм, 33,1 мм и 29,8 мм; высота стенки в калибрах 1, 2, 3, и 4 соответственно 31,1 мм, 35,2 мм, 33,6 мм и 35,8 мм. При опытной прокатке профиль получен в соответствии с техническими условиями.

Так как тавровая сталь обычной Т-образной формы представляет собой половину двутавровой балки, то принципиально не исключена возможность прокатки тавровой стали в сдвоенном виде в балочных калибрах с последующим разделением профиля двутавровой балки на два профиля.

На Донецком металлургическом заводе была проведена серия опытов по прокатке сдвоенной полособуль-

бовой стали № 6 с продольной разрезкой ее в горячем состоянии непосредственно в чистовом калибре рабочей клети [17]. Прокатка производилась на четырехклетевом стане 400, причем первая линия состояла только из одной обжимной клети с размерами валков 550 × 1690 мм. Вторая линия включала три клети трио с валками диаметром 400 мм и длиной бочки 1100 мм при числе оборотов валков 140—210 об/мин.

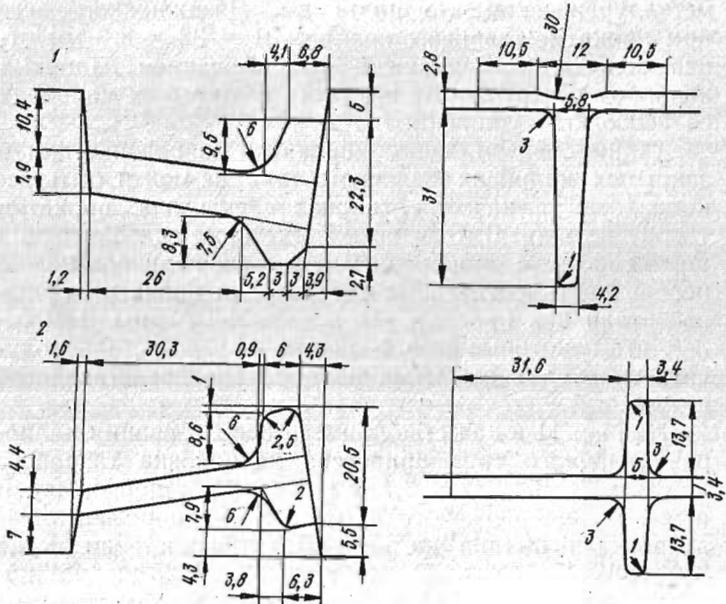


Рис. 11. Калибровка таврового профиля 30,8 × 35 × 2,8 мм с использованием калибров балочного типа на линейном трехклетевом стане 300 отраслевой лаборатории ДИИ (Днепродзержинского индустриального института).

Из возможных вариантов чистового калибра был принят режущий по способу дисковых ножниц. С целью предотвращения при разрезке скручивания профилей вокруг головок были предусмотрены коэффициенты вытяжки для головок значительно большими, чем для полок.

При прокатке промышленных партий полособульбового профиля с разрезкой было установлено, что износ калибров валков, включая и режущие кромки, не превышает обычного при прокатке одинарных полос. Величина образующихся при разрезании заусенцев за-

висит от способа подготовки полосы к разрезанию и от ширины зазора между режущими кромками. С целью устранения заусенцев многие авторы предлагают различные виды так называемых концентраторов напряжений.

ПРОКАТКА ТАВРОВОЙ СТАЛИ В ОТКРЫТЫХ КАЛИБРАХ СО СВОБОДНЫМ УШИРЕНИЕМ

В нашей стране прокатка тавровой стали в открытых калибрах со свободным уширением впервые была освоена на Гурьевском металлургическом заводе, заводе «Серп и Молот», металлургическом комбинате им. Дзержинского и др. Впоследствии этот метод прокатки был

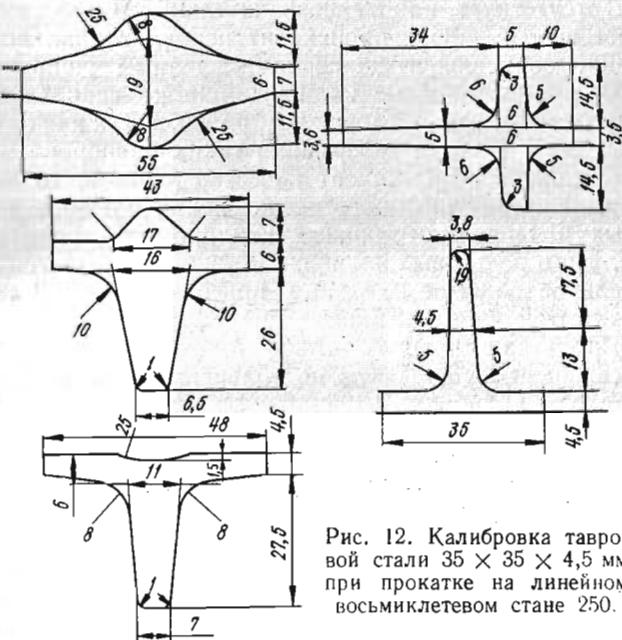


Рис. 12. Калибровка тавровой стали 35 × 35 × 4,5 мм при прокатке на линейном восьмиклетевом стане 250.

распространен на сложный тонкостенный тавровый профиль № 2 для оконных и фонарных переплетов промышленных зданий, освоенный на Чусовском металлургическом заводе [2], и на тавровые профили, прокатываемые на полуунпрерывном стане 260 металлургического завода им. Коминтерна [11; 18].

На рис. 12 представлена калибровка в открытых калибрах со свободным уширением таврового профиля

35 × 35 × 4,5 мм, который раньше прокатывался на линейном стане 250 Чусовского металлургического завода. В качестве исходного сечения для калибра 1 используется полоса ромбического сечения. Калибры 2, 3 и 5 — ребровые (с вертикальным расположением стенки), калибр 4 — пластовый (с горизонтальным расположением стенки).

В ребровых калибрах происходит интенсивное обжатие полок и контроль высоты стенки профиля. В пластовых калибрах предусматривается обжатие стенки и контроль ширины полок. Как правило, в ребровых калибрах отсутствует обжатие толщины стенки за счет проволакивания в закрытом ручье, а в пластовых калибрах обжатие толщины полок за счет проволакивания или отсутствует, или же незначительно. В ребровых и пластовых калибрах происходит неравномерная деформация, сопровождающаяся вынужденным уширением.

Ребровые тавровые калибры широко используются при прокатке железнодорожных рельсов. Так как от конструкции и режима деформации таких калибров в значительной степени зависит качество рельсов, то этому вопросу посвящено много исследований. Отличие рельсовых и тавровых ребровых калибров заключается в том, что в рельсовых калибрах обычно применяется значительное обжатие по высоте при боковом защемлении в закрытой части калибра.

Прокатка тавровой стали в открытых калибрах со свободным уширением по сравнению с прокаткой в закрытых калибрах балочного типа имеет существенные преимущества, которые в основном сводятся к следующему [2]:

1. Коэффициенты высотной деформации стенки в пластовых и полок в ребровых калибрах значительны, что предопределяется небольшой глубиной вреза в валки и простой формой калибров. Применение повышенных коэффициентов высотной деформации позволяет в случае необходимости сократить число фасонных калибров и общее число проходов. При этом, конечно, необходимо не переходить границ, в которых возможна безаварийная и устойчивая работа стана. Для открытых калибров уменьшается количество валковой арматуры, изготовление которой весьма трудоемко. Конструкция валковой арматуры упрощается, что особенно заметно для пластовых калибров, так как в этом случае иногда можно ограничиться плоскими выводными проводками для стенки профиля. При сокращении числа проходов

возможна более полная механизация и автоматизация процесса прокатки (применение обводных аппаратов, кантующих муфт и т. д.)

При выборе схемы прокатки и коэффициентов деформации необходимо принимать во внимание все факторы, определяющие высокопроизводительную работу стана и повышение качества прокатываемого профиля. В практике часто наблюдается, особенно для тонкостенной тавровой стали, что увеличение количества фасонных калибров не снижает производительности стана, а уменьшает износ прокатных валков, сокращает число перевалок и облегчает настройку стана. При увеличении числа фасонных калибров уменьшается также степень неравномерности деформации.

2. В ребровых калибрах совершенно отсутствуют осевые усилия при прокатке. Поэтому значительно меньше времени затрачивается на настройку стана, нет необходимости в опорных конусах и работа стана становится более ритмичной.

В пластовых калибрах вследствие некоторого уклона стенки прокатываемая полоса стремится сместиться в направлении полок, но этому смещению препятствуют полки профиля, которые формируются в закрытых частях калибра, и выводная валковая арматура. При этом оба валка смещаются в одном направлении. Однако это усилие не столь значительно в последних по ходу прокатки калибрах и при достаточно хорошо закрепленной арматуре не влияет на работу стана. В первых по ходу прокатки калибрах усилие может достигать значительной величины и поэтому роль выводной арматуры существенно возрастает.

Так как для открытых калибров нет необходимости в опорных конусах и промежуточных переходных буртах, то на тех же валках можно разместить большее число калибров. Кроме того, уменьшается исходный диаметр отливки для валков, так как для открытых калибров диаметр буртов значительно меньше, чем для калибров балочного типа.

3. Сокращается расход энергии при прокатке, что объясняется отсутствием трения о боковые стенки калибра и меньшим контактным давлением. Переход на прокатку в системе открытых калибров даже тонкостенной тавровой стали не вызывает перегрузки главного привода и не требует его замены.

4. Уменьшается расход прокатных валков как вследствие более рационального размещения на валках,

так и вследствие значительного повышения их стойкости. Сокращается число перевалок и увеличивается производительность стана.

Упрощается обточка прокатных валков, снижается стоимость передела в вальцетокарной мастерской и сокращается необходимое количество валков. Так как в значительной степени устраняется опасность образования заусенцев, а следовательно, и закатов, повышается качество готовой продукции за счет уменьшения брака и вторых сортов.

5. Одни и те же открытые калибры могут быть использованы для прокатки ряда профилей тавровой ста-

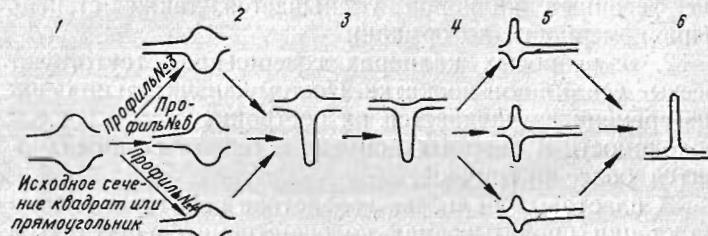


Рис. 13. Универсальная схема прокатки тонкостенных тавровых профилей № 3, № 4 и № 6 на линейном восьмиклетевом стане 250.

ли смежных размеров. На рис. 13 приведена универсальная схема прокатки тавровых профилей № 3, № 4 и № 6 на черновой и чистовой линиях мелкосортного линейного восьмиклетевого стана 250. Эти профили имеют одинаковую высоту стенки (35 мм), одинаковые радиусы закруглений (в месте соединения стенки и полок — 3 мм, концов стенки и полок — 1,5 мм) и одинаковые толщины полок и стенки (3,3 мм). Ширина полок соответственно равна 30, 24 и 35 мм. Уклон граней стенки для всех профилей равен 2 %, что предопределяет ребровое расположение чистового калибра.

Различие профилей № 3, № 4 и № 6 только по ширине полок позволило при использовании открытых калибров предусмотреть общие калибры 1, 3, 4 и 6. Калибры 2 и 5 различны для каждого профиля и отличаются только шириной полок. При принятой универсальной схеме прокатки тавровой стали уменьшается необходимое количество валков, упрощается их расточка и сокращается время на перевалки при переходе с одного профиля на другой.

В некоторых случаях калибровка тавровой стали в открытых калибрах допускает прокатку на одних и тех

же валках профилей различной формы. Например, на валках чистовой клети возможна прокатка полосовой стали, что особенно важно для прокатных станов, прокатывающих малотоннажные партии простых и сложных профилей. При этом, конечно, всегда должны быть учтены особенности каждого стана, иначе универсальность схем прокатки может осложнить работу вальцовщиков и обслуживающего персонала и сказаться на качественных показателях работы стана.

6. При прокатке тавровой стали в калибрах балочного типа по мере износа валков и опорных конусов толщина открытых полок непрерывно увеличивается и регулировка толщины практически невозможна. В открытых же калибрах толщина стенки в пластовых и полок в ребровых калибрах легко регулируется путем изменения зазора между валками. Опасность защемления стенки в ребровых и полок в пластовых калибрах хотя и существует, но может быть значительно и даже полностью ограничена соответствующим контролем вальцовщиков за состоянием подшипников, установкой и износом прокатных валков и пр.

В процессе прокатки в открытых калибрах путем настройки могут быть частично или даже полностью устранины допущенные при расчете калибровки ошибки в величинах высотной деформации, утяжки и вынужденного уширения. Такая корректировка калибровки в процессе настройки стана существенно облегчает освоение новых тавровых и им подобных профилей сложной формы.

Остановимся на недостатках открытых калибров. Следует заметить, что в закрытых калибрах балочного типа происходит обжатие не только стенки, но и толщины полок, особенно той полки, которая деформируется в открытой части калибра. В открытых же калибрах, как правило, не предусматривается обжатие по толщине за счет проволакивания стенки в ребровых и полок в пластовых калибрах. Поэтому неравномерность деформации в открытых калибрах больше, чем в закрытых калибрах балочного типа. Хотя это и является недостатком открытых калибров, однако при этом не ухудшается качество готового проката.

В ребровых калибрах, в которых происходит интенсивное утонение полок и которые несимметричны относительно продольно-горизонтальной плоскости, возможны защемление стенки и случаи оковывания валков. Однако этого защемления можно избежать, если

не предусматривать бокового обжатия стенки, а деформировать ее только по высоте с целью контроля последней.

В тех случаях, когда в ребровых калибрах необязателен контроль стенки по высоте, может быть рекомендована [19] конструкция проводки, при которой для устранения оковывания и поломок прокатных валков носок проводки, входящей в ребровую часть калибра, выполнен удлиненным и проходит за вертикальную плоскость, проходящую через оси валков. Впоследствии конструкция сквозной проводки для ребровых

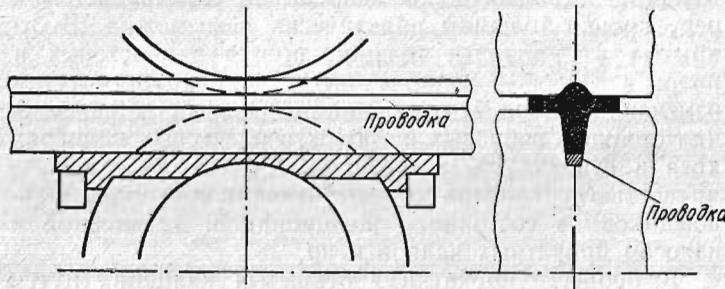


Рис. 14. Конструкция сквозной проводки для ребровых калибров.

калибров была усовершенствована. При этом проводка опирается средней частью на валок и крайними (концевыми) частями — на брусья с обеих сторон валка (рис. 14).

Необходимые при прокатке тавровой стали в открытых калибрах периодические кантовки полос на современных станах не вызывают трудностей и не требуют ручного труда, а применение манипуляторов обеспечивает точную задачу полос в калибры.

Выше мы рассмотрели преимущества и недостатки метода прокатки тавровой стали в открытых калибрах со свободным уширением. В то же время принципиально не исключена возможность применения метода прокатки тавровой стали со стесненным уширением. Однако стесненное уширение при прокатке тавровой стали обычно не предусматривается, так как в этом случае вследствие колебания величины вынужденного уширения возможно переполнение калибров, которое приводит к браку и значительно усложняет процесс прокатки.

Прокатка тавровой стали в открытых калибрах со свободным уширением по сравнению с прокаткой со

стесненным уширением имеет и недостатки, заключающиеся в следующем:

1. В открытых черновых калибрах возможно свертывание полос.

2. Отсутствие давления со стороны стенок калибра на боковые грани полок в ребровых и стенки в пластовых калибрах затрудняет выполнение углов готового профиля.

3. В открытых калибрах на боковых гранях полок в ребровых и стенки в пластовых калибрах при низком качестве стали не исключено образование трещин и рванин.

Анализируя недостатки прокатки в открытых калибрах со свободным уширением, можно отметить, что при современном уровне развития сталеплавильного и прокатного производства постоянное улучшение качества стали уменьшает опасность образования рванин и трещин на свободно уширяющихся боковых поверхностях прокатываемого профиля. Более того, при чередовании кантовок полос через один или два прохода трещины при их образовании попадают в обжимаемую часть профиля и полностью завариваются.

Жесткие требования к выполнению углов прокатываемой тавровой стали предъявляются очень редко. Тем более, что выполнение углов тех частей профиля, которые располагаются в закрытом ручье чистового калибра, легко получить любой формы.

Форма концов полок, уширяющихся свободно в чистовом калибре, определяется предчистовым калибром, где полки деформируются в закрытых ручьях, и при небольших коэффициентах деформации полок в чистовом калибре очертание их концов может быть достаточно определенным.

При прокатке тавровой стали с массивными полками и стенкой с целью обеспечения заданной конфигурации поверхности концов полок и стенки целесообразно в отдельных случаях использовать тавровые калибры со стесненным уширением.

Примером преимущества прокатки в открытых калибрах может служить совершенствование калибровок тавровых профилей № 2, 3, 4 и 6 для переплетов промышленных зданий на линейном стане 260 металлургического завода им. Коминтерна. Эти профили прокатывались в закрытых калибрах балочного типа [10]. При этом для каждого профиля предусматривались свои калибры. Калибры клети V (чистовой) также являлись

калибрами балочного типа с горизонтальным расположением стенки. Раскат от черновой линии к чистовой транспортировался по рольгангу с кантовкой на 90°. Однако ввиду сложности конфигурации раскат после кантовки был неустойчив в вертикальном положении, что приводило к задержкам в работе и увеличивало выход брака.

В калибровке в клетях I—III чистовой линии применили открытые калибры со свободным уширением [10].

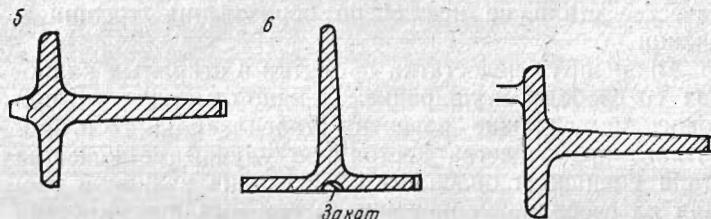


Рис. 15. Схема образования заката при прокатке таврового профиля № 6 для оконных и фонарных переплетов.

Рис. 16. Конструкция предчистового полузакрытого калибра при прокатке таврового профиля № 6 для оконных и фонарных переплетов.

В клетях II и III были предусмотрены общие калибры для прокатки профилей № 3, 4 и 6. Раскат к клети I транспортировался без кантовки. На рольганге установили калиброванные ролики с двумя ручьями, обеспечив полную механизацию передачи раската. Из клети I в клеть II был установлен обводной аппарат и валковая арматура новой конструкции. Уже в период освоения сменная производительность стана при работе по новой калибровке повысилась в среднем на 15 %, а выход вторых сортов снизился на 38 % [10]. Однако калибры клетей IV и V были оставлены старые, то есть балочного типа со всеми присущими им недостатками.

Впоследствии стан 260 был реконструирован [18] на полунепрерывный. Процесс прокатки на чистовой линии был полностью механизирован. Калибровка тавровых профилей № 2, 3, 4 и 6 была усовершенствована с применением только открытых калибров со свободным уширением. При этом калибры клетей II, IV и V при прокатке профилей № 3, 4 и 6 были предусмотрены как общие для всех этих профилей.

На металлургическом комбинате «Озд» (Венгрия) прокатка тавровой стали производилась с использова-

нием закрытых калибров балочного типа. При этом вследствие интенсивного износа валков размеры открытых полок значительно превосходили расчетные. Часто происходило защемление полос в валках. Поэтому на этом заводе для всех тавровых профилей был осуществлен переход на прокатку в открытых калибрах со свободным уширением. При этом резко улучшились качественные показатели.

На рис. 15 приведена схема образования заката в чистовом калибре при прокатке таврового профиля № 6 в открытых калибрах. Такой дефект иногда встречается при прокатке тавровых профилей и зависит в первую очередь от размеров калибра и режима обжатий. Для устранения заката может быть рекомендован полу-закрытый предчистовой калибр (рис. 16).

ПРОКАТКА ТАВРОВОЙ СТАЛИ В ТРЕХВАЛКОВЫХ КАЛИБРАХ

Для получения сложных профилей применяется способ прокатки в многовалковых клетях с трех- и четырехвалковыми калибрами.

Отраслевой лабораторией прокатного производства Магнитогорского горно-металлургического института и Череповецким сталепрокатным заводом предложен способ прокатки тавровой стали в клетях с трехвалковым калибром [20]. Для исследования и прокатки фасонных профилей была разработана конструкция трехклетевого опытно-промышленного стана 300 с трехвалковыми калибрами, имеющего следующую техническую характеристику каждой клети:

Диаметр валков, мм	330
Материал валков	Отбеленный чугун
Максимальный крутящий момент, Н·м	4840
Максимальное давление на один валок, Н	61600
Максимальная скорость прокатки, м/с	11

Привод каждой клети от двигателя мощностью 19 кВт с числом оборотов 750/1300 через редуктор типа РПЧ 300 с передаточным числом $i = 49$.

Калибровка тавровой стали $41 \times 33 \times 3,0 \times 3,5$ мм для тормозных колодок автомобиля «Москвич» на трехвалковом стане 300 приведена на рис. 17. Разъемы валков расположены под углом 120°.

При прокатке тавровой стали $41 \times 33 \times 3,0 \times 3,5$ мм в клетях 1 и 2 полки профиля развернуты на

величину угла, соответствующего разъему валков. Конструкция калибра чистовой клети 3 отличается от калибров 1 и 2 в связи с тем, что в калиbre 3 происходит разгибание полок профиля.

Исходная заготовка, поступающая в калибр 1, работающий подобно разрезному, представляет собой круг диаметром 34 мм. Высокая температура заготовки позволяет достичь высокой степени неравномерности деформации в клети 1. В клетях 2 и 3 осуществляется обжатие полок и стенки профиля до требуемых размеров.

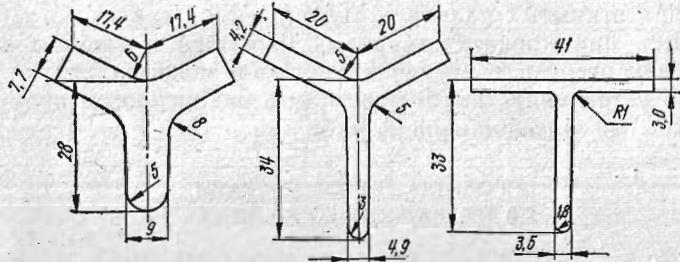


Рис. 17. Калибровка таврового профиля $41 \times 33 \times 3,0 \times 3,5$ мм на трехвалковом стане 300.

Во избежание появления больших внутренних напряжений калибровка тавровой стали выполнена с примерным равенством коэффициентов вытяжки полок и стенки в клетях 2 и 3.

Для получения тавровой стали с жесткими допусками (поле допуска не более 0,15 мм) рекомендуется второй и третий проходы осуществлять в предварительно-напряженных клетях.

Результаты исследования формоизменения тавровой стали при прокатке на станах с трехвалковыми калибрами приведены в работе [21].

На трехвалковом стане 300 при прокатке тавровой стали максимальное обжатие за каждый пропуск может достигать 50 %. Такая интенсивная деформация позволяет почти вдвое сократить число проходов, а следовательно, уменьшить парк валков.

Способ прокатки в трехвалковых калибрах можно рекомендовать для получения тавровой стали специального назначения и сложной формы с повышенными требованиями к точности размеров.

В Челябинском политехническом институте освоена прокатка стальных фасонных профилей (в том числе и высокой точности) из углеродистых, качественных,

инструментальных и легированных сталей, сплавов и цветных металлов в клетях с многовалковыми калибрами [22]. Прокатку вели в клети 150/150 с четырехвалковым калибром и в клети 165/165 с трех- и четырехвалковыми калибрами. Прокатка осуществлялась за 1—3 прохода для наиболее массовых профилей, вписывающихся в круг диаметром 30 мм, как в горячем, так и в холодном состоянии. Сортамент профилей включает также крестообразную и тавровую сталь различной конфигурации.

По мнению авторов [22], лучшей схемой производства фасонных профилей высокой точности является следующая: волочение заготовки — прокатка на промежуточный и конечный размеры или горячая прокатка заготовки — шлифовка поверхности — прокатка на промежуточный и конечный размеры. Обе схемы эффективны по сравнению с волочением при производстве фасонных профилей высокой точности сечением до 100 mm^2 , вписывающихся в квадрат со стороной 10 мм. С увеличением площади сечения профилей и их сложности эффективность описанных схем уменьшается.

Отечественный и зарубежный опыт производства фасонных профилей высокой точности показывает, что применение комбинированного способа горячая прокатка — волочение за 1—2 прохода обеспечивало лучшие по сравнению с волочением технико-экономические показатели.

В процессе исследований процесса прокатки в многовалковом калибре была разработана технология изготовления рабочих валков диаметром 150 и 165 мм. Рабочие валки по мере их износа могут подвергаться многократному восстановлению. Износостойкость валков достаточно высока. Челябинским политехническим институтом были получены опытно-промышленные партии семи фасонных профилей высокой точности. Внедрение только одного профиля в производство дало экономический эффект свыше 10 тыс. р. [22].

В лаборатории прокатки и калибровки экономичных профилей Днепропетровского металлургического института совместно с Днепропетровским металлургическим заводом им. Коминтерна разработаны способ и устройство прокатки тавровых профилей в многовалковых калибрах в условиях действующих станов [23].

Устройство представляет собой валковую приставку, изготовленную в виде кассеты, вставляемой вместо нижнего рабочего валка чистовой клети стана. В кассе-

те смонтировано два приводных или неприводных вертикальных валка, образующих вместе с верхним рабочим валком чистовой клети стана Т-образный калибр.

Как показали опытные и опытно-промышленные испытания, применение валковой приставки позволяет осуществить прокатку тавровых профилей в многовалковых калибрах в клетях действующих станов без применения специальных многовалковых клетей.

В процессе выполнения этой исследовательской работы испытывались модификации приставки с приводными и неприводными валками, с расположением их вертикально и под углом.

Осуществление прокатки опытно-промышленной партии в объеме 2884 т оконно-рамных профилей № 5П и 6П с использованием валковой приставки с неприводными валками, расположенными под углом 10° к вертикальной оси, обеспечили существенное повышение качества профилей и возможность их производства в поле минусового допуска. Экономическая эффективность составляет 6,0 р. на 1 т продукции.

ПРОКАТКА НИЗКОТАВРОВОЙ СТАЛИ ДЛЯ СВАРНЫХ ШИРОКОПОЛОЧНЫХ БАЛОК

Низкотавровые профили используются в качестве полок сварных двутавровых балок. Двутавровые балки с полками из низкотавровых профилей более технологичны в изготовлении и ремонте, чем балки, полученные сваркой трех плоских элементов. Перенос сварных швов на стенку благодаря удалению их из зоны концентрации напряжений значительно увеличивает динамическую прочность балок по сравнению с балками, изготовленными из трех плоских элементов. Низкотавровые профили расширяют также возможность экономии металла за счет изготовления бистальных элементов двутаврового сечения [13].

Из проведенного ВНИИметмашем технико-экономического сравнения сварных балок из низкотавровых профилей и катаных балок можно заключить следующее:

1. Производство сварных балок для путей подвесного транспорта высотой 234—720 мм и подкрановых балок высотой 600—1060 мм, охватывающее почти весь сортамент этих типов балок, является экономически выгодным.

2. Производство сварных балок общего назначения экономически целесообразно при изготовлении балок

высотой более 600 мм, для меньшей высоты экономически выгоднее метод прокатки.

Низкотавровые профили имеют ширину полок 200—800 мм, высоту стенки 50—100 мм, толщину стенки и полок 8—40 мм. Даже при небольшом числе типоразмеров эти профили позволяют,арьируя толщину и высоту стенки балки, конструировать двутавры, разнообразные по соотношению площадей сечения стенки и полок, а также по их высоте и ширине.

Опытная прокатка низкотавровых профилей для сварных балок была проведена на полуунпрерывном стане 600 Коммунарского металлургического завода [13]. Так как использование типовых схем прокатки тавровой стали в открытых калибрах со свободным уширением на полуунпрерывном стане 600 затруднительно вследствие недостаточного количества эджерных клетей, то в целях установления закономерностей течения металла в тавровых черновых калибрах были проведены экспериментальные исследования на лабораторном стане 210 [24].

В качестве исходной заготовки использовали образцы с прямоугольным поперечным сечением толщиной от 10 до 35 мм и шириной от 50 до 200 мм. Материал образцов МСтЗкп. Температура нагрева образцов 1200 °C. Чтобы исследовать условия получения наибольшей высоты стенки, были изготовлены чугунные и стальные валки с врезами различной конфигурации для формирования стенки (рис. 18). Прокатка производилась по трем различным схемам. Исследование выявило наибольшую эффективность получения стенки максимальной высоты для схемы с ложными фланцами трапецидальной формы со стороны открытого валка.

Освоение низкотавровых профилей $300 \times 50 \times 10 \times 6,5$ мм и $300 \times 56 \times 16 \times 10$ мм было проведено на стане 600 по новой схеме прокатки с использованием черновых разрезных калибров с двумя разрезающими гребнями (рис. 19) из прямоугольной заготовки сечением 175×270 мм. В скобках на рис. 19 указаны размеры черновых калибров для профиля $300 \times 56 \times 16 \times 6$.

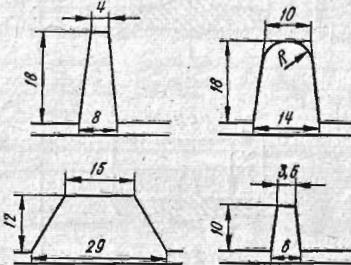


Рис. 18. Размеры и форма кольцевых выточек (щелей) при прокатке тавровых профилей на валках диаметром 210 мм.

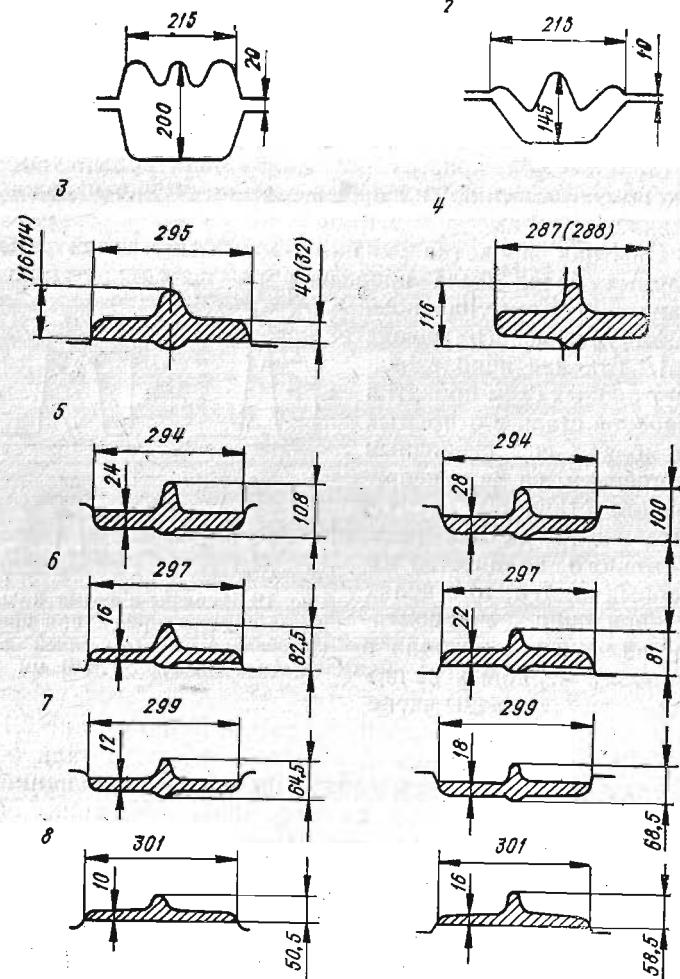


Рис. 19. Схема прокатки низкотавровых профилей $300 \times 50 \times 10 \times 6,5$ мм и $300 \times 56 \times 16 \times 10$ мм на стане 600.

$\times 10$ мм. Профили были прокатаны из стали МСтЗсп, МСтЗкп и 45. Прокатка осуществлялась в восьми фасонных калибрах. Общий перепад температуры от калибра 3 до калибра 8 составил для профиля $300 \times 56 \times 16 \times 10$ мм около 200 °С. Температура конца прокатки $960-970$ °С. Прокатанные профили соответствовали техническим условиям. Результаты освоения были применены в производственной калибровке валков, по кото-

рой на стане 600 были прокатаны низкотавровые профили $340 \times 54 \times 14 \times 6,5$ мм и $375 \times 88 \times 32 \times 16$ мм.

Во ВНИИметмаше совместно с Институтом электросварки АН УССР им. Е. О. Патона была разработана [9] линия для поточного изготовления сварных двутавровых балок с помощью стыковой высокочастотной сварки. На этой линии может осуществляться сварка широкополочных и других видов балок высотой от 300 до 500 мм, с шириной полок до 300 мм, со скоростью от 5 до 20 м/мин при горизонтальном расположении стенки. Максимальная длина сварной балки 6 м. Для стенки балки используется листовой прокат с обрезанными кромками толщиной от 4 до 12 мм и шириной от 200 до 400 мм, а для полок балки — полосы из низкотавровых профилей. Процесс сварки с применением высокочастотного нагрева в несколько раз производительнее дуговой сварки, оборудование поточной линии проще и дешевле прокатного.

Питание индукторов для нагрева кромок профиля под сварку осуществляется от четырех высокочастотных генераторов 100 кВт каждый частотой тока 8000 Гц. Собственно линия занимает площадь 4×12 м, общая масса механического оборудования 30 т, общая установленная мощность электроприводов 900 кВт. Оборудование линии обеспечивает необходимое взаимное положение свариваемых элементов профиля перед их сваркой, соединение элементов профиля с помощью высокочастотной сварки с последующим применением термомеханического упрочнения сварного шва. Линия состоит из загрузочного устройства, двух трехроликовых гибочных машин, установки фиксирующих роликов, двух индукторов для высокочастотного нагрева кромок элементов профиля перед их сваркой, двух рабочих клетей и холостого приемного рольганга.

С помощью изложенного выше способа могут быть изготовлены различные виды двутавровых профилей, которые трудно или даже невозможно получить прокаткой, например, балки для путей подвесного транспорта с профицированным нижним поясом, асимметричные подкрановые балки, бистальные балки, т. е. балки, в которых полки и стенки выполнены из различных марок стали, и другие виды профилей.

Экономические расчеты подтверждают высокую эффективность способа поточного производства сварных двутавровых профилей с помощью высокочастотной сварки. Для повышения качества и эффективности ВНИИ-

метмаш предложил использовать в качестве стенки сварной двутавровой балки полосы с высаженными кромками, т. е. с кромками толщиной на 30—40 % больше, чем толщина самой полосы [9].

ГЛАВА 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ПРИ ПРОКАТКЕ ТАВРОВОЙ И КРЕСТООБРАЗНОЙ СТАЛИ

РАСЧЕТ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ В РЕБРОВЫХ ТАВРОВЫХ КАЛИБРАХ

Теоретические исследования формоизменения и расхода энергии в ребровых и пластовых калибрах при помощи вариационных принципов механики изложены в работе [25].

На рис. 20, а представлено поперечное сечение очага деформации в ребровом тавровом калибре. Обжимаемыми элементами являются полки. Обжатие по высоте стенки в расчетной схеме отсутствует. На обеих полках

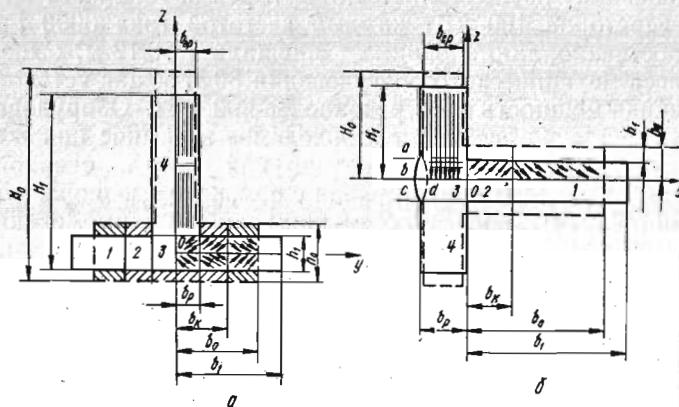


Рис. 20. Поперечное сечение очага деформации при прокатке тавровых профилей:
а — в ребровых, б — в пластовых калибрах.

есть критическое сечение b_k (рис. 20, а), которое представляет собой границу раздела течения металла в поперечном направлении. Деформация на участках 1 и 2 активная, т. е. эти участки непосредственно обжимаются валками. Деформация участка 3 протекает под воздействием бокового давления со стороны металла, перемещающегося из участка 2 в поперечном направле-

нии, и под воздействием сил, растягивающих участок 3 в продольном направлении. Металл участка 4 испытывает деформацию продольного растяжения за счет сил взаимодействия, которые возникают вблизи поверхности стыка участков 3 и 4. Очевидно, что эти участки деформируются за счет части энергии, получаемой активными участками от валков.

Опытные данные свидетельствуют о наличии весьма значительного перетекания металла в слабообжимаемые части. Расчет количества металла, перетекающего из полок в центральную часть профиля, представляет собой трудную задачу, так как количество перемещающегося металла зависит от критического сечения b_k , положение которого в общем случае всегда неизвестно.

Экспериментальные исследования особенностей деформации в ребровых калибрах приведены в работе [26]. В исследованиях предусматривалось высотное обжатие стенки и ее боковое защемление. Анализ эпюров относительной продольной деформации показывает, что характер изменения продольной деформации одинаков для всех элементов очага деформации, однако экспериментальные значения кривых частных относительных удлинений имеют различное положение по длине очага деформации. В сечениях на полках они смешены к плоскости выхода из геометрического очага деформации, а в переходном участке и стенке — к плоскости входа. Максимальная неравномерность продольной деформации, таким образом, имеет место на границах геометрического очага деформации.

При исследовании поперечной деформации установлено наличие значительных перемещений металла полок в переходный участок (участок 3 на рис. 20, а), а также различие высотной деформации по толщине стенки. У поверхности контакта металла с закрытой частью калибра деформация выше. Большую роль в выравнивании деформации по всему сечению полосы играют внешние зоны, которые имеют значительную протяженность, превышающую длину геометрического очага деформации.

Параметры процесса прокатки [25] в ребровом калибре (рис. 20, а) следующие:

$$\left. \begin{aligned} m_1 &= \frac{h_0}{b_0 - b_p}; & m_2 &= \frac{h_0}{2b_p}; & n &= \frac{b_0 - b_p}{l}; \\ \eta &= \frac{h_1}{h_0}; & \Theta &= \frac{S_3 + S_4}{S_1 + S_2} = \frac{H_0 b_p}{h_0 (b_0 - b_p)}; & \Psi &= \frac{\tau_k}{\tau_s}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где Ψ — коэффициент развития контактных напряжений; τ_k — контактное напряжение трения; τ_s — предел текучести при сдвиге.

В качестве варьируемых параметров для ребрового калибра (аналогично для пластового и крестообразного калибров) были приняты соотношение между логарифмами поперечной ($\beta = b_1/b_0$) и высотной ($1/\eta = h_0/h_1$) деформациями $a = \lg \beta / \lg (1/\eta)$ и коэффициент, определяющий положение критического сечения $a_3 = b_k/b_0$. При решении вариационного уравнения с учетом практических калибровок были приняты следующие пределы изменения параметров прокатки: $m_1 = 0,2 \dots 1,4$; $m_2 = 0,5 \dots 1,5$; $n = 1,0 \dots 1,5$; $\eta = 0,5 \dots 0,8$; $\Theta = 0,4 \dots 3,0$; $\Psi = 0,5 \dots 1,0$. Для ребровых, пластовых и крестообразных калибров изменение варьируемых параметров a и a_3 было принято в следующих пределах: $a = 0,15 \dots 0,915$; $a_3 = 0,20 \dots 0,920$ с разделением каждого интервала на десять равных частей.

При вычислении одного минимума суммарной мощности всех сопротивлений деформации ΣN подсчитывалось 100 значений функционала для ΣN , из которых выбиралось наименьшее, соответствующее действительным значениям ΣN , a и a_3 для заданной группы параметров.

Для проверки точности решения были проведены опыты на лабораторных станах 130 и 200 по прокатке крестообразных профилей и полос таврового сечения в ребровых и пластовых калибрах [25]. Материал образцов — свинец. Сравнение расчетных и экспериментальных данных дало удовлетворительную сходимость.

Анализ табличных данных позволяет сделать следующие выводы.

В ребровых тавровых калибрах коэффициент вытяжки λ значительно зависит от коэффициента обжатия $1/\eta$, соотношения площадей необжимаемых (стенки) и обжимаемых (полок) частей профиля Θ и формы поперечного сечения полок m_1 . Зависимость коэффициента вытяжки от коэффициента обжатия $1/\eta$ и параметра Θ очевидна, так как с увеличением обжатия коэффициент вытяжки должен возрастать, а при увеличении площади необжимаемых частей уменьшаться. При соотношении необжимаемых и обжимаемых частей профиля $\Theta \geq 0,4$ коэффициент вытяжки значительно зависит от коэффициента развития контактных сил трения Ψ . Это явление объясняется тем, что мощность внешних сопротивлений мала по отношению к общей мощности всех внутренних

и внешних сопротивлений. Положение критического сечения b_k зависит от параметра m_1 . Результаты решения для ребрового, пластового и крестообразного калибров обрабатывались по методу наименьших квадратов.

Для ребрового калибра получены следующие формулы:

$$a_3 = 0,55 + 0,12(m_1 - 0,2). \quad (2)$$

Если $0,2 \leq m_1 \leq 0,8$, то

$$\lg \lambda = [0,7346 - 0,0933m_1 - (0,1616 - 0,056m_1)\Theta] \lg 1/\eta. \quad (3)$$

Зная коэффициент вытяжки λ и положение критического сечения b_k , из условия постоянства объема находим утяжку стенки

$$\delta = \frac{H_0}{H_1} = \left\{ \frac{h_0}{H_0} \left[\frac{(H_0 - h_0)}{h_0 V \lambda} + \eta + \frac{a_3 b_0}{b_{rp,1}} \left(\frac{1}{\lambda} - \eta \right) \right] \right\}^{-1}. \quad (4)$$

РАСЧЕТ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ В ПЛАСТОВЫХ ТАВРОВЫХ КАЛИБРАХ

В пластовом калибре (рис. 20, б) обжимаемая часть профиля (стенка) делится критическим сечением b_k на участки 1 и 2. При рассмотрении фотографии деформированной координатной сетки поперечного сечения полосы после прокатки в пластовом калибре ясно видно [25] существование продольно-вертикального критического сечения b_k на участках 1 и 2. Металл, смещенный в поперечном направлении на участке 1, идет на уширение стенки до размера b_1 , а на участке 2 — на образование переполнения (лампаса) со стороны подошвы профиля. Для уменьшения переполнения или полного его устранения на участке 3 задаваемой полосы предусматривается вогнутость.

Участок 4 (полки) во избежание защемления, как правило, в практической калибровке не подвергают боковым обжатиям. Контроль полок по высоте при решении не учитываем, а определяем полную утяжку полок. В отличие от ребрового калибра при деформации в пластовых калибрах отсутствует перетекание металла из активного участка 2 в закрытую часть калибра. Тогда высоту полок H_1 после пропуска определим как $H_1 = H_0/V\lambda$. Аналогично определяется и толщина после пропуска.

Переход металла из участка 2 в участок 3 определяет стрелу прогиба подошвы adc в предыдущем по ходу прокатки ребровом калибре. Участки 3 и 4 являются пассивными.

Из рассмотренной кинематической схемы течения металла следует, что при прокатке в пластовых калибрах происходит только утяжка полок профиля.

Параметры процесса прокатки [25] в пластовом калибре (рис. 20, б) следующие:

$$\left. \begin{aligned} m_1 &= \frac{h_0}{b_0}; \quad m_2 = \frac{h_0}{b_p}; \quad n = \frac{b_0}{l}; \\ \eta &= \frac{h_1}{h_0}; \quad \Theta = \frac{S_3 + S_4}{S_1 + S_2} = \frac{H_0 b_p}{h_0 (b_0 - b_p)}; \quad \Psi = \frac{\tau_k}{\tau_s}. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Варьируемые параметры a и a_3 .

При решении вариационного уравнения с учетом практических калибровок были приняты следующие пределы изменения параметров прокатки: $m_1 = 0,1 \dots 0,4$; $m_2 = 0,4 \dots 1,2$; $n = 1,2 \dots 3,0$; $\eta = 0,5 \dots 0,8$; $\Theta = 0,5 \dots 2,0$; $\Psi = 0,5 \dots 1,0$.

Анализ табличных данных, полученных в результате решения, позволяет сделать следующие выводы.

Для пластовых калибров при $\Theta \geqslant 0,4$ коэффициент вытяжки λ зависит от параметров m_2 , n , $1/\eta$ и Θ , а зависимость коэффициента вытяжки от параметра m_1 настолько несущественна, что ею можно пренебречь. Влияние формы очага деформации стенки профиля (параметр n) на коэффициент вытяжки λ оказывается в изменении длины очага деформации и в увеличении λ при увеличении n . При увеличении параметра m_2 , характеризующего форму поперечного сечения участка 3, за счет уменьшения размера b_p резко уменьшается мощность взаимодействия участков 3 и 4 и возрастает коэффициент вытяжки. Положение критического сечения (варируемый параметр a_3) существенно зависит от параметров m_1 и m_2 .

Для коэффициента вытяжки в пластовом калибре получены следующие формулы:

при $m_2 = 0,4$

$$\lg \lambda = (0,8256 - 0,244\Theta + 0,0445n) \lg \frac{1}{\eta}; \quad \left. \begin{aligned} \text{при } m_2 = 0,8 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

$$\lg \lambda = (0,8706 - 0,431\Theta + 0,0445n) \lg \frac{1}{\eta}; \quad \left. \begin{aligned} \end{aligned} \right\}$$

при $m_2 = 1,2$

$$\lg \lambda = (0,7766 - 0,404\Theta + 0,0445n) \lg \frac{1}{\eta}.$$

Варьируемый параметр положения критического сечения a_3 существенно зависит от m_1 и m_2 и при обработке данных по методу наименьших квадратов аппроксимируется формулой

$$a_3 = \frac{b_k}{b_0} = 0,417 - 0,275m_1 + 0,1m_2. \quad (7)$$

Перетекание металла из участка 2 в участок 3 (рис. 20, б) определяет стрелу прогиба подошвы adc в предыдущем по ходу прокатки ребровом калибре. Площадь фигуры $abcd$ находится из условия постоянства объема

$$S_{abcd} = b_k (\beta - 1) h_{cp} = 2b_0 a_3 h_{cp} \left(\frac{1}{\lambda \eta} - 1 \right). \quad (8)$$

Назначая конструктивно форму лампаса, можно из выражения (8) найти стрелу прогиба сегмента в предыдущем по ходу прокатки ребровом калибре.

Ширину стенки (размер b_1) после пропуска определяют по уравнению

$$b_1 = b_0 \left[a_3 + (1 - a_3) \frac{1}{\eta \lambda} \right], \quad (9)$$

которое получено из условия постоянства объема.

РАСЧЕТ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ПРИ ПРОКАТКЕ КРЕСТООБРАЗНЫХ ПРОФИЛЕЙ

Рассмотрим кинематическую схему течения металла в крестообразном калибре (рис. 21) [25]. Полагаем, что непосредственному обжатию валками подвергаются только боковые части (полки). Так как профиль имеет две плоскости симметрии, то можно ограничиться рассмотрением одной четвертой части очага деформации.

В крестообразном калибре обжимаемые части профиля (участки 1 и 2) разделены критическим сечением b_k . На участке 1 поперечные перемещения металла создают уширение полок профиля, а на участке 2 за счет поперечных перемещений металл перетекает в центральную часть (участок 3), компенсируя тем самым утяжку гребня (участка 4). Очевидно, что скорость поперечного перемещения в критическом сечении b_k равна нулю и имеет разные знаки справа и слева от этого сечения.

Оба участка 1 и 2 являются активными, поскольку их деформация осуществляется за счет непосредственного обжатия валками.

Так как на практике обжатия гребня предусматривается лишь для контроля его высоты и при решении не учитывается, то деформация на участке 3 осуществляется за счет бокового давления со стороны участка 2 и продольного растяжения. В зависимости от величины притока металла со стороны участка 2 высота участка

3 в процессе деформации может как уменьшаться, так и увеличиваться. Участок 3, деформирующийся под действием растягивающих и сжимающих усилий, нельзя считать полностью активным как участки 1 и 2, или полностью пассивным, как участок 4.

Участок 4 деформируется лишь за счет продольного растяжения и полностью пассивен. Поперечная и высотная деформация этого участка представляют собой утяжки.

При определенных соотношениях размеров очага деформации крестообразного профиля возможен, как это следует из опытов, настолько интенсивный приток металла к участку 3, что происходит приращение общей высоты средней необжимаемой части профиля. Таким образом, высотная утяжка участка 4 полностью и даже с излишком компенсируется приращением высоты участка 3.

Параметры процесса прокатки в крестообразном калибре следующие:

$$m_1 = \frac{h_0}{b_0 - b_p}; \quad m_2 = \frac{h_0}{b_p}; \quad n = \frac{b_0 - b_p}{l};$$

$$\eta = \frac{h_1}{h_0}; \quad \Theta = \frac{S_3 + S_4}{S_1 + S_2} = \frac{H_0 b_p}{h_0 (b_0 - b_p)}; \quad \Psi = \frac{\tau_k}{\tau_s}.$$

Варьируемые параметры a и a_3 .

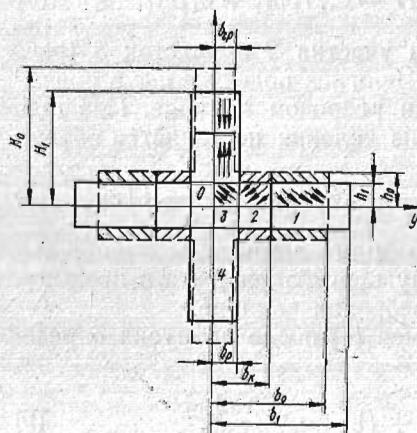


Рис. 21. Поперечное сечение очага деформации при прокатке крестообразных профилей.

При решении вариационного уравнения с учетом практических калибровок были приняты следующие пределы изменения параметров прокатки: $m_1 = 0,2 \dots 1,4$; $m_2 = 0,5 \dots 1,5$; $n = 1,0 \dots 2,5$; $\Theta = 0,6 \dots 3,0$; $\eta = 0,5 \dots 0,8$; $\Psi = 0,75$. Анализ табличных данных, полученных в результате решения, позволяет сделать следующие выводы.

В крестообразных калибрах коэффициент вытяжки λ существенно зависит от параметров $1/\eta$ и Θ , несколько меньше от m_1 и n и почти не зависит от изменения параметра m_2 , характеризующего форму поперечного сечения участка 3. Положение критического сечения b_k в наибольшей степени зависит от параметра m_1 .

Для крестообразного калибра после обработки табличных данных по методу наименьших квадратов получены зависимости коэффициента вытяжки λ от Θ , n и $1/\eta$ для различных m_1 при $0,4 \leq \Theta \leq 3,0$:

$$\text{при } m_1 = 0,2$$

$$\lg \lambda = [0,5 - 0,115\Theta + 0,0467(n-1)] \lg \frac{1}{\eta};$$

$$\text{при } m_1 = 0,8$$

$$\lg \lambda = [0,4 - 0,1315\Theta + 0,0467(n-1)] \lg \frac{1}{\eta};$$

$$\text{при } m_1 = 1,4$$

$$\lg \lambda = [0,252 - 0,067\Theta + 0,0467(n-1)] \lg \frac{1}{\eta}.$$

(10)

Положение критического сечения b_k существенно зависит от параметра m_1 и может быть определено по формуле

$$a_3 = \frac{b_k}{b_0} = 0,48 + 0,133(m_1 - 0,2). \quad (11)$$

Используя условие постоянства объема, получим формулу для утяжки гребня δ с учетом перетекания металла

$$\delta = \frac{H_0}{H_1} = \left\{ \frac{h_0}{H_0} \left[\frac{(H_0 - h_0)}{h_0 \sqrt{2}} + \eta + \frac{a_3 b_0}{b_{rp_1}} \left(\frac{1}{\lambda} - \eta \right) \right] \right\}^{-1}. \quad (12)$$

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ПРИ ПРОКАТКЕ ТАВРОВОЙ И КРЕСТООБРАЗНОЙ СТАЛИ

При калибровке тавровых и крестообразных профилей существенное значение имеет определение формоизменения в первых по ходу прокатки фасонных калибрах, в которых осуществляется первоначальное формирование профиля из заготовки прямоугольного, круглого или квадратного сечения.

От точности оценок и расчетов коэффициентов вытяжки λ , уширения β и, особенно, утяжки δ необжимаемых

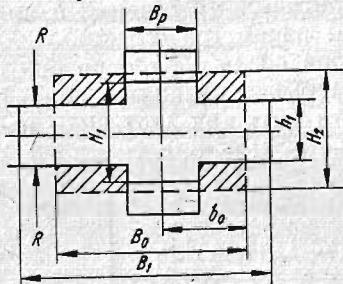


Рис. 22. Схема формоизменения прямоугольной полосы в крестообразном калибре.

стала — от электродвигателя мощностью 120 кВт и числом оборотов 734 об/мин. Передаточное число редуктора — 23,34.

В качестве независимых переменных были приняты (рис. 22) геометрические размеры очага деформации и калибра: H_2 , H_1 — толщина полосы до и после пропуска; B_0 — ширина полосы до пропуска; B_p — ширина вреза калибра; b_0 — асимметричность положения полосы в калибре; R — радиус валков.

Образцы изготавливались из стали марки Ст 3 длиной 300—350 мм. Температура нагрева образцов 1000 °C.

На основании технической характеристики стана 300, на размеры образцов и валков накладываются ограничения:

$$H_2 \leq 40 \text{ мм}, \quad B_0 \leq 80 \text{ мм}, \quad \Delta h \leq 20 \text{ мм}. \quad (13)$$

Изменение ширины вреза B_p и асимметричности b_0/B_0 взято на основании анализа действующих калибровок в следующих пределах

$$0,25B_0 \leq B_p \leq 0,4B_0, \quad 0,25 \leq \frac{b_0}{B_0} \leq 0,5. \quad (14)$$

Радиусы R нижнего и верхнего валков принятые постоянными и равными 150 мм.

Безразмерные относительные параметры m_t очага деформации определены как отношения размеров H_2 , B_0 , B_p , b_0 и радиуса R к толщине h_1 обжимаемых участков полосы после пропуска

$$\begin{aligned} m_1 &= \frac{H_2}{h_1}; \quad m_2 = \frac{B_0}{h_1}; \quad m_3 = \frac{B_p}{h_1}; \quad m_4 = \frac{b_0}{h_1}; \\ m_5 &= \frac{R}{h_1}. \end{aligned} \quad (15)$$

С учетом выражений (13), (14) и $R = 150$ мм находим пределы изменения параметров

$$\begin{aligned} 1,3 \leq m_1 \leq 2,0; \quad 3,0 \leq m_2 \leq 4,0; \quad 0,7 \leq m_3 \leq 1,6; \\ 1,0 \leq m_4 \leq 1,5; \quad 7,5 \leq m_5 \leq 10,0. \end{aligned} \quad (16)$$

При планировании эксперимента в качестве модели для неизвестных функций:

$$\lambda = L_1/L_0, \quad \beta = B_1/B_0 \text{ и } \delta = H_2/H_1,$$

где L_0 и L_1 — дина между наносимыми на боковой поверхности образца рисками до ($L_0 = 200$ мм) и после пропуска соответственно, принимаем полином второй степени

$$\begin{aligned} y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5 + a_6x_1^2 + \\ + a_7x_2^2 + a_8x_3^2 + a_9x_1^2 + a_{10}x_5^2 + a_{11}x_1x_2 + a_{12}x_1x_3 + \\ + a_{13}x_1x_4 + a_{14}x_1x_5 + a_{15}x_2x_3 + a_{16}x_2x_4 + \\ + a_{17}x_2x_5 + a_{18}x_3x_4 + a_{19}x_3x_5 + a_{20}x_4x_5, \end{aligned}$$

где область планирования эксперимента в пространстве размерности $n = 5$ определяется неравенствами

$$-1 \leq x_i \leq +1, \quad i = 1, 2, \dots, 5. \quad (17)$$

В качестве плана эксперимента используем точный насыщенный план B_5 , точками которого являются вершины гиперкуба и центры его граней. Число экспериментальных точек равно: $N = 2^5 + 2 \times 5 = 42$.

Переменные x_t и m_t связаны в соответствии с зависимостями [28]

$$\begin{aligned} x_1 &= 2,857m_1 - 4,714; \quad x_2 = 2,000m_2 - 7,000; \\ x_3 &= 2,222m_3 - 2,556; \quad x_4 = 4,000m_4 - 5,000; \\ x_5 &= 0,800m_5 - 7,000, \end{aligned} \quad (18)$$

которые получены при переходе от переменных выражения (16) к переменным x_i из формулы (17) на основании соотношений

$$x_i = 2 \frac{m_i - m_{i,\text{ср}}}{m_{i,\text{max}} - m_{i,\text{min}}}.$$

Определение геометрических размеров образцов H_0 , B_0 , h_1 , B_p , b_0 и обработка результатов планируемого эксперимента проведены на основании экспериментальных данных по методике, изложенной в работе [28].

Вследствие сложности зависимостей для коэффициентов λ , β и δ была выполнена [28] проверка значимости коэффициентов a_i . После отбрасывания незначимых членов полиномов, перехода от переменных x_i к m_i согласно формуле (18) и подстановки значений m_i из выражения (15) получены окончательные формулы для определения коэффициентов деформации λ , β и δ :

$$\begin{aligned} \lambda &= 0,935 + 0,171m_1 - 0,114m_2 + 0,193m_3 + \\ &\quad + 0,120m_1m_2 - 0,234m_1m_3; \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} \beta &= 0,495 + 0,464m_1 + 0,045m_2 + 0,013m_5 - 0,062m_1m_2; \\ &\quad (20) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta &= 0,496 + 0,323m_1 + 0,036m_2 + 0,179m_3 - 0,167m_1m_3, \\ &\quad (21) \end{aligned}$$

которые определены для интервалов изменения параметров m_i , указанных в формуле (16).

Оценка дисперсии ошибок наблюдения в выражениях (19), (20) и (21) составляет соответственно 0,00304; 0,00074 и 0,00347, поэтому полученные путем планируемого эксперимента формулы (19), (21) можно рекомендовать при расчете калибровок тавровых и крестообразных профилей.

При прокатке некоторых профилеразмеров тавровой стали со сравнительно низкой стенкой на современных малоклетевых непрерывных станах первоначальное формирование профиля производится из заготовки круглого сечения в тавровых калибрах ребрового типа:

Так как при использовании исходной заготовки круглого поперечного сечения определить заполнение первого формирующего калибра с помощью теоретических моделей становится трудно, для нахождения необходимых зависимостей был проведен планируемый эксперимент на трехклетевом полупромышлennом стане 300. Материал образцов — МСт 3 кп.

Цель планируемого эксперимента состояла в получении после статистической обработки результатов формул для расчета коэффициентов вытяжки и уширения в зависимости от соотношений формы и размеров полосы и калибра. Химический состав металла и температура прокатки при переходе от опыта к опыту не изменялись.

Проведенный с учетом потребностей производства предварительный анализ показал, что значения коэффициентов формоизменения зависят (рис. 23) от диаметра исходной заготовки d , высоты калибра H_1 , толщины полок h_1 , ширины вреза b_1 и среднего диаметра валков $D = 0,5(D_b + D_h)$. Изменение геометрических размеров и параметров прокатки целесообразно принять в следующих пределах: $d = 30\dots70$ мм; $H_1 = 20\dots35$ мм; $h_1 = 10\dots25$ мм; $b_1 = 30\dots55$ мм; $D = 280$ мм. Так как в производственных условиях температура прокатки и условия трения практически одинаковы для различных профилей, то нет необходимости менять их в ходе эксперимента. Температура нагрева образцов составляла 1000—1100 °С. Уклон боковых граней стенок ручья может быть принят постоянным. В данном эксперименте этот уклон равен 10 %.

Для упрощения выкладок и исследования изменения функций отклика в достаточно широкой области факторного пространства в качестве переменных были приняты безразмерные величины:

$$m_1 = d/H_1; \quad m_2 = h_1/H_1; \quad m_3 = b_1/H_1; \quad m_4 = D/H_1. \quad (22)$$

Эксперимент проводился по ортогональному нейтральному композиционному плану для четырех факторов m_1 , m_2 , m_3 , m_4 . Основой плана является гиперкуб, т. е. следующая область изменения

$$\begin{aligned} m_1 &= 1,617\dots2,183; & m_2 &= 0,451\dots0,699; \\ m_3 &= 1,444\dots1,656; & m_4 &= 8,865\dots12,673 \end{aligned} \quad (23)$$

полного факторного эксперимента 2^4 для линейных моделей. Поэтому вначале при определении расчетных

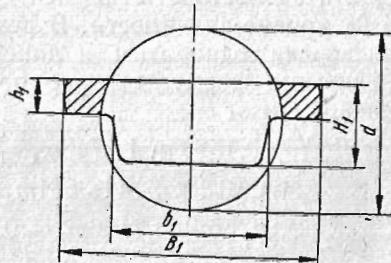


Рис. 23. Схема формоизменения полосы круглого сечения в тавровом калибре.

формул для коэффициента уширения

$$\frac{\Delta B}{\Delta h} = \frac{B_1 - d}{d - H_1}$$

и коэффициента вытяжки λ была предпринята проверка адекватности линейных моделей.

В процессе обработки полученных данных были проверены воспроизводимость опытов по критерию Кохрена при 5 % значимости, значимость коэффициентов по критерию Стьюдента при доверительной вероятности 0,95 и адекватность моделей по критерию Фишера при 5 % уровне значимости. В результате получилось, что дисперсии однородны и линейные модели адекватны. Расчетные формулы после отбрасывания незначимых членов имеют вид:

$$\begin{aligned} \Delta B/\Delta h &= 0,1593 + 1,1743m_1 - 0,5143m_2 - 1,2451m_3 + \\ &+ 0,0188m_4 - 1,3681m_1m_2 + 1,8489m_2m_3; \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} \lambda &= 0,6756 + 0,7156m_1 - 0,3621m_2 - 0,166m_3 - \\ &- 0,0087m_4. \end{aligned} \quad (25)$$

Для оценки точности расчетных формул (24) и (25) были определены средние значения и средние квадратичные отклонения ошибок

$$\delta_1 = \frac{\lambda_p - \lambda_s}{\lambda_s - 1}; \quad \delta_2 = \frac{(\Delta B/\Delta h)_p - (\Delta B/\Delta h)_s}{(\Delta B/\Delta h)_s}.$$

Получены следующие величины: $(\delta_1)_{cp} = 0,0013$; $\sigma_1 = 0,0492$; $(\delta_2)_{cp} = 0,0022$; $\sigma_2 = 0,0388$. Формулы (24) и (25) могут быть рекомендованы для практических расчетов при формировании таврового профиля с низкой стенкой из заготовки круглого сечения.

В тех случаях, когда из заготовки круглого сечения прокатывается тавровая сталь со сравнительно высокой стенкой, целесообразно для первоначального формирования профиля применять тавровый калибр балочного типа.

Планируемый эксперимент по прокатке заготовки круглого сечения в тавровых калибрах балочного типа был проведен на трехклетевом полупромышленном стане 300. Материал образцов — сталь марки МСтЗкп. Температура нагрева образцов 1000—1100 °C.

Область изменения размеров исходных заготовок и калибров была выбрана в соответствии с размерами профилей, прокатываемых в промышленных условиях. Было принято (рис. 24) $d = 20\dots65$ мм; $b_1 = 10\dots35$ мм;

$h_1 = 12\dots25$ мм; $D = 300$ мм, (d — диаметр исходной заготовки, b_1 — толщина полок на конце, h_1 — толщина стенки, D — средний диаметр валков по стенке).

Наружный уклон полок равен 1 %, уклон внутренних граней полок одинаковый для закрытой и открытой полок и принят равным 20 %.

В качестве переменных были приняты следующие безразмерные величины

$$m_1 = d/h_1; \quad m_2 = b_1/h_1; \quad m_3 = D/h_1 \quad (26)$$

с областью изменения

$$m_1 = 1,7\dots2,396; \quad m_2 = 0,75\dots1,25;$$

$$m_3 = 11,583\dots19,857 \quad (27)$$

полного факторного эксперимента 2^3 для линейных моделей. В качестве функций отклика были приняты коэффициенты выполнения полок k и стенки β : $k = H_1/d$, $\beta = B_1/d$.

После оценки значимости коэффициентов уравнений регрессий по критерию Стьюдента и отбрасывания незначимых членов формулы для определения коэффициентов k и β имеют вид

$$\begin{aligned} k &= 3,3351 - 1,4147m_1 - \\ &- 1,7967m_2 - 0,1071m_3 + \\ &+ 1,0775m_1m_2 + \\ &+ 0,0523m_1m_3 + \\ &+ 0,0899m_2m_3 - \\ &- 0,0439m_1m_2m_3; \end{aligned} \quad (28)$$

$$\begin{aligned} \beta &= 0,8828 + 0,2161m_1 - \\ &- 0,1752m_2. \end{aligned} \quad (29)$$

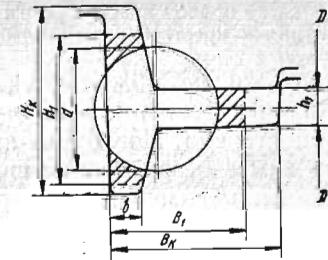


Рис. 24. Схема формоизменения полосы круглого сечения в тавровом калибре балочного типа.

Для проверки точности формул (28) и (29) были проведены дополнительные эксперименты, при этом диаметр заготовок d и толщина стенки h_1 в этой серии отличались от соответствующих точек плана. Средние значения и средние квадратичные отклонения ошибок

$$\delta_1 = (k_p - k_s)/k_s;$$

$$(\delta_1)_{cp} \approx 0,054;$$

$$(\delta_1)_{cp} \approx 0,015;$$

$$\delta_2 = (\beta_p - \beta_s)/\beta_s;$$

$$\sigma_1 = 0,111;$$

$$\sigma_2 = 0,044.$$

В целом точность расчетов удовлетворительная. Результаты проверки позволяют сделать вывод, что формула (29) более точна, чем (28).

Цель экспериментальных исследований, выполненных на стане 300, заключалась в получении зависимостей величин, характеризующих формоизменение металла, и энергосиловых параметров от размеров образца и калибра при прокатке симметричных крестообразных образцов в крестообразных калибрах с обжатием только боковых частей (рис. 25).

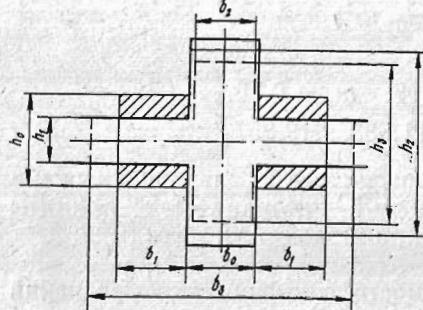


Рис. 25. Схема формоизменения при прокатке полосы крестообразного сечения в крестообразном калибре.

калибра и не обжимаются. Математическими моделями искомых зависимостей служат полиномы первой и второй степени. Поскольку зависимости должны быть получены в безразмерном виде, из шести размерных переменных образованы 5 безразмерных:

$$\begin{aligned} m_1 &= h_0/h_1, \quad m_2 = h_0/R, \quad m_3 = b_0/R, \\ m_4 &= b_0/b_1, \quad m_5 = h_2/R \end{aligned} \quad (30)$$

с интервалами варьирования:

$$\begin{aligned} 1,2 \leqslant m_1 \leqslant 1,8; \quad 0,12 \leqslant m_2 \leqslant 0,22; \quad 0,12 \leqslant m_3 \leqslant 0,2; \\ 1 \leqslant m_4 \leqslant 1,8; \quad 0,25 \leqslant m_5 \leqslant 0,45. \end{aligned} \quad (31)$$

При планировании эксперимента использован ортогональный центральный композиционный план второго порядка, где факторами являются нормированные переменные x_i , линейно зависящие от m_i :

$$x_i = 2 \frac{m_i - m_{i,\text{ср}}}{m_{i,\text{max}} - m_{i,\text{min}}}, \quad (32)$$

где $i = 1, \dots, 5$.

Тогда, учитывая значения формулы (31), из выражения (32) имеем

$$\begin{aligned} x_1 &= -5 + 3,3333; \quad x_2 = -3,4 + 20; \quad x_3 = -4 + 25; \\ x_4 &= -3,5 + 2,5; \quad x_5 = -3,5 + 10. \end{aligned} \quad (33)$$

Уровни варьирования факторов x_i стандартные: $+1,0$, -1 . В качестве ядра плана использован дробный план 2^{5-1} с генератором $x_5 = x_1 x_2 x_3 x_4$. Количество точек плана $N = 2^{5-1} + 2 \cdot 5 + 1 = 27$, плечо $\alpha = 1,547$. Составление плана эксперимента и вычисление коэффициентов моделей проведены по методике, описанной в работе [28]. Для расчета размеров образцов (рис. 25) выражаем h_0, h_1, b_0, b_1, h_2 через m_i :

$$\begin{aligned} h_0 &= m_2 R, \quad h_1 = m_2/m_1 R, \quad b_0 = m_3 R, \\ b_1 &= m_3/m_4 R, \quad h_2 = m_5 R. \end{aligned}$$

Радиус бандажей принят постоянным: $R = 150$ мм. Первые 16 точек плана представляют собой ядро плана и используются для получения линейной модели, а все 27 точек служат для вычисления коэффициентов квадратичной модели.

Образцы были изготовлены из стали Ст3. Длина образцов 300 мм. Количество образцов 81, по три одинаковых образца на каждую точку плана. Два образца были предназначены для настройки, а третий являлся контрольным. На каждом образце были нанесены две риски на расстоянии 150 мм друг от друга, предназначенные для определения коэффициента вытяжки. Отклонение размеров образцов от заданных — не более 0,5 см.

Прокатка проводилась на полупромышленном трехклетевом стане с диаметром бандажей 300 мм, диаметром промежуточных колец 220 мм и длиной бочки 420 мм. Бандажи были изготовлены из стали Ст3 без термической обработки. Образцы перед прокаткой нагревались в электрической печи до температуры 1100 °C. Время нагрева — 15—20 мин.

В качестве безразмерных характеристик формоизменения выбраны: $\lambda = Z_1/Z_0$ — коэффициент вытяжки; $\beta = b_3/(b_0 + 2b_1)$ — коэффициент уширения; $\delta = h_3/h_2$ — коэффициент утяжки среднего участка образца по высоте.

По методике, приведенной в работе [28], рассчитаны оценки коэффициентов линейных и квадратичных моделей, описывающих зависимость λ , β , δ от факторов x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 .

Проверка коэффициентов на значимость проведена с использованием критерия Стьюдента. Незначимые члены отброшены, после чего по формулам (33) вместо x_i в модели введены m_i . Окончательный вид зависимостей следующий:

1. Коэффициент вытяжки λ .

Линейная модель

$$\begin{aligned} \lambda = & 0,6878 + 0,356m_1 - 0,319m_2 + 0,1105m_3 + \\ & + 0,08059m_4 + 0,3461m_5 + 0,6183m_1m_2 + 0,2m_1m_3 - \\ & - 0,09117m_1m_4 - 0,573m_1m_5 - 0,056m_2m_3 - \\ & - 0,3175m_2m_4 + 0,48m_2m_5 - 0,1234m_3m_4 - \\ & - 0,2875m_3m_5 + 0,1278m_4m_5. \end{aligned} \quad (34)$$

Уровень значимости $\alpha = 0,01$. Оценка дисперсии ошибок наблюдений $s^2 = 0,44 \cdot 10^{-9}$. Средняя ошибка приближения $\varepsilon = 0,0005\%$.

Квадратичная модель для λ имеет меньшую точность и поэтому при расчетах приходится ограничиваться линейной зависимостью.

2. Коэффициент уширения β .

Линейная модель

$$\begin{aligned} \beta = & 0,7717 + 0,2416m_1 - 0,6837m_2 + 0,2864m_3 + \\ & + 0,0363m_4 - 0,1138m_5 + 0,2475m_1m_2 - 1,083m_1m_3 + \\ & + 0,0225m_1m_4 + 0,47m_1m_5 + 2,631m_2m_3 - 0,1169m_2m_4 + \\ & + 0,4938m_3m_4 - 0,6812m_3m_5 - 0,2269m_4m_5. \end{aligned} \quad (35)$$

$$\alpha = 0,01, s^2 = 0,32 \cdot 10^{-9}, \varepsilon = 0,0004\%.$$

Квадратичная модель

$$\beta = 0,7277 + 0,2996m_1. \quad (36)$$

$$\alpha = 0,01, s^2 = 0,18 \cdot 10^{-4}, \varepsilon = 1,3\%.$$

3. Коэффициент утяжки среднего участка по высоте

Линейная модель

$$\begin{aligned} \delta = & 0,9331 - 0,1085m_1 + 0,04523m_2 - 0,3311m_3 + \\ & + 0,1214m_4 + 0,3078m_5 - 0,006267m_1m_2 + 0,6807m_1m_3 - \\ & - 0,002342m_1m_4 - 0,0598m_1m_5 + 2,359m_2m_3 - \\ & - 0,0409m_2m_4 - 0,1888m_2m_5 - 0,3184m_3m_4 - \\ & - 1,414m_3m_5 + 0,0736m_4m_5. \end{aligned} \quad (37)$$

$$\alpha = 0,01, s^2 = 0,47 \cdot 10^{-10}, \varepsilon = 0,0001\%.$$

Квадратичная модель

$$\delta = 0,9683 - 0,233m_2 + 0,02562m_4 \quad (38)$$

$$\alpha = 0,01, s^2 = 0,66 \cdot 10^{-3}, \varepsilon = 0,92\%.$$

На рис. 26 представлена схема формоизменения в тавровом ребровом калибре. Планируемый эксперимент был проведен на линейном трехклетевом стане 300. Цель эксперимента — определение зависимостей для коэффициентов вытяжки, уширения и утяжки как функций геометрических параметров процесса прокатки. При этом

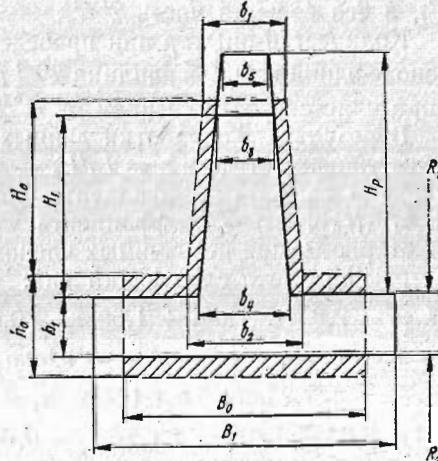


Рис. 26. Схема формоизменения при прокатке тавровой стали в ребровом калибре.

учитывается и боковое обжатие стенки за счет проволакивания, которое иногда предусматривается в черновых калибрах при прокатке тавровой стали.

В качестве переменных были приняты следующие безразмерные параметры прокатки:

$$\begin{aligned} m_1 &= h_0/h_1, \quad m_2 = H_0/h_0, \quad m_3 = B_0/b_4, \quad m_4 = b_4/R, \\ m_5 &= R/h_1, \quad m_6 = (b_2 - b_1)/2H_0, \quad m_7 = B_2/b_4, \end{aligned} \quad (39)$$

где $R = 0,5(R_1 + R_2)$.

На геометрические параметры наложены следующие ограничения:

$$16,0 \text{ мм} \leqslant b_2 \leqslant 38,0 \text{ мм}; \quad 9,3 \text{ мм} \leqslant b_1 \leqslant 32,8 \text{ мм};$$

$$16,0 \text{ мм} \leqslant b_4 \leqslant 32,0 \text{ мм}; \quad 2,5 \text{ мм} \leqslant b_5 \leqslant 23,0 \text{ мм};$$

$$10,0 \text{ мм} \leqslant B_0 \leqslant 96,0 \text{ мм}; \quad 17,5 \text{ мм} \leqslant H_0 \leqslant 33,3 \text{ мм}; \quad (40)$$

$$10,0 \text{ мм} \leqslant h_0 \leqslant 18,0 \text{ мм}; \quad 8,0 \text{ мм} \leqslant h_1 \leqslant 12,0 \text{ мм}.$$

$$R = 157,5 \text{ мм} = \text{const.}$$

Используя формулы (39) и (40), определяем пределы изменения параметров

$$\begin{aligned} 1,25 \leq m_1 \leq 1,50; \quad 1,75 \leq m_2 \leq 1,85; \quad 2,5 \leq m_3 \leq 3,0; \\ 0,1 \leq m_4 \leq 0,2; \quad 13,1 \leq m_5 \leq 19,7; \\ 0,1 \leq m_6 \leq 0,15; \quad 1,0 \leq m_7 \leq 1,2. \end{aligned} \quad (41)$$

Параметр m_6 определяет уклон боковых стенок ребрового калибра, который изменяется от 10 до 15 %.

В качестве основы плана взят не весь план полного факторного эксперимента для линейной модели (ПФЭ 2⁷), а его восьмая часть 2⁷⁻³.

Количество опытов при проведении эксперимента на основе одной восьмой реплики 2⁷⁻³ для линейной модели определяется соотношением $N = 2^{7-3} = 16$.

В результате обработки данных эксперимента получены зависимости для $\lambda = L_1/L_0$ — коэффициента вытяжки, $\beta = B_1/B_0$ — коэффициента уширения, $\delta = (H_1 + h_1)/(H_0 + h_0)$ — коэффициента утяжки, которые после отбрасывания незначимых членов и перехода к параметрам m_i имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} \lambda = -2,9 + 3,12m_1 + 1,62m_2 - 0,0200m_3 - 3,49m_4 + \\ + 0,00150m_5 + 0,594m_7 - 1,50m_1m_2 - 1,10m_1m_4 + \\ + 2,25m_2m_4 + 0,550m_3m_4 - 0,0337m_4m_6; \end{aligned} \quad (42)$$

$$\begin{aligned} \beta = 3,04 - 1,08m_1 - 1,24m_2 - 0,0825m_3 + 1,26m_4 - \\ - 0,0143m_5 + 0,119m_7 + 0,900m_1m_2 - \\ - 1,70m_1m_4 + 0,0337m_4m_5; \end{aligned} \quad (43)$$

$$\begin{aligned} \delta = 1,7 - 0,114m_1 + 0,108m_2 + 0,035m_3 - 2,38m_4 + \\ + 0,00120m_5 - 0,937m_7 - 0,420m_3m_4 + \\ + 0,0217m_4m_5 + 3,32m_4m_7. \end{aligned} \quad (44)$$

ГЛАВА 4

КАЛИБРОВКА ПРОФИЛЕЙ ТАВРОВОГО СЕЧЕНИЯ

ТИПОВЫЕ СХЕМЫ ПРОКАТКИ ТАВРОВОЙ СТАЛИ В ОТКРЫТЫХ КАЛИБРАХ

Прокатка тавровых профилей в открытых калибрах в зависимости от размеров, формы поперечного сечения профиля и марки стали осуществляется по разным схемам. На основании опыта работы отечественных и зарубежных прокатных станов из всего многообразия

калибровок могут быть рекомендованы для тавровой стали восемь типовых схем прокатки в открытых калибрах со свободным уширением (рис. 27). Приведенные на рис. 27, а схемы I—V используются [2] на станах с линейным расположением клетей, а также на станах шахматного или зигзагообразного типа. Схемы I—III на рис. 27, б применяются для непрерывных станов и допускаются различные видоизменения с увеличением или уменьшением числа калибров, которое определяется размерами тавровой стали и соотношением размеров их элементов.

Рассмотрим характеристики и особенности схем прокатки, приведенных на рис. 27, а.

Схема I предназначена для прокатки тавровой стали малых размеров с толщиной стенки и полок 5—7 мм. По этой схеме тавровые профили прокатываются за четыре прохода, из которых первые два осуществляются в ребровых калибрах. Исходная заготовка имеет квадратное сечение и задается в первый фасонный калибр (такие калибры обычно называют «колокольными») на диагональ. Со стороны верхнего вала первого калибра есть углубление для обеспечения нормального заполнения полок в этом калибре, придания устойчивости полосе при прокатке и получения вынужденного уширения в последующем калибре. Кроме того, углубление способствует заполнению стенки во втором калибре.

Ширина полок раската в первом калибре может регулироваться изменением размеров исходной квадратной заготовки. Однако при этом возрастает боковое обжатие стенки в закрытой части колокольного калибра, что обычно нежелательно, так как это может привести к выпрессованию полосы и оковыванию нижнего вала. Поэтому наиболее рациональным и, как правило, применяемым в практике настройки стана способом является получение нужной ширины полок профиля за счет изменения обжатия толщины полок во втором калибре, где заранее предусматривается при неравномерной деформации вынужденное уширение полок. Если при этом достигается необходимая по схеме ширина полок, то не следует увеличивать размеры исходного сечения более тех, которые достаточны для устойчивого заполнения стенки в первом калибре.

Из второго ребрового калибра полоса после кантовки на 90° поступает в пластовый калибр (предчистовой), в котором происходит обжатие стенки и контроль высоты полок. Для компенсации в пластовом калибре уширения

стенки со стороны полок предусматривается во втором калибре выпуклость на верхнем валке. В чистовом калибре ребрового типа закрытая часть калибра (стенка) расположена в верхнем валке. Такой способ расположения чистового калибра применяется на практике в большинстве случаев, так как обеспечивает нормальные и

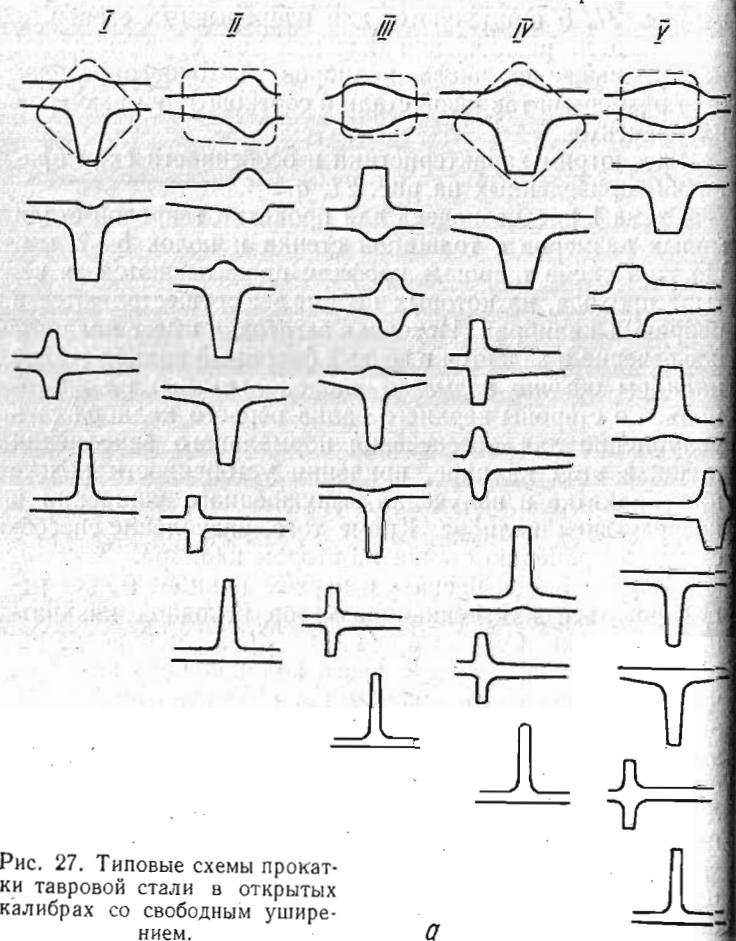


Рис. 27. Типовые схемы прокатки тавровой стали в открытых калибрах со свободным уширением.

удобные условия работы как на стане, так и на ходильнике.

Схема II осуществляется за шесть проходов и применяется для прокатки тонкостенной тавровой стали с шириной полок 30—40 мм и высотой стенки 30—60 мм. По этой схеме прокатывается тавровая сталь с толщиной

стенки и полок от 3 до 4 мм. В качестве исходной заготовки используется полоса квадратного или прямоугольного сечения, задаваемая плашмя в первый профильный калибр. Применение квадрата или прямоугольного сечения в качестве исходной заготовки зависит от соотношений размеров готового профиля. Тавровую сталь с малой шириной полок и высокой стенкой прокатывают из прямоугольного сечения, а при примерно равных ширине и высоте профиля лучше использовать квадрат.

В первых по ходу прокатки пластовых калибрах, кроме обжатия и формирования стенки, происходит первоначальное формирование полок профиля. Врезы в валках при их большой глубине в случае прокатки тавриков с широкими полками трудно заполняются и поэтому приходится предусматривать в первом и втором пластовом калибрах большую толщину полок и уменьшать тем самым утяжку полок в связи с увеличением их площади. Далее необходимая ширина полок получается за счет их вынужденного уширения в третьем и четвертом калибрах ребрового типа. Изменение величины обжатия толщины полок, а соответственно в какой-то мере и величины вынужденного уширения

в ребровых калибрах, трудностей не представляет и осуществляется в процессе настройки стана. Чтобы устранить изгиб (серпение) полосы в первых пластовых калибрах,

как следствие неравномерной деформации по ширине полосы, предусматривается с правой стороны калибра повышенное обжатие и установка длинных выводных линеек, тем более что такая форма пластовых калибров дополнительно способствует заполнению стенки по высоте в первом ребровом калибре.

Если ширина полок профиля мала по сравнению с высотой стенки, т. е. $B \ll H$, то по схеме II один из первых двух пластовых калибров становится излишним и прокатка такой тавровой стали может осуществляться в 5 проходов.

Схема III предусматривает семь фасонных калибров и является дальнейшим развитием предыдущей. Она применяется в тех случаях, когда при прокатке широкополочных тавриков по схеме II не обеспечивается заданное заполнение двух первых пластовых калибров и вследствие этого не может быть получена требуемая ширина полок. По схеме III обычно прокатывается тавровая сталь следующих размеров, мм: общая ширина полок — 40—65; высота стенки — 40—60; толщина полок — 3—8; толщина стенки — 3—6.

При прокатке на одном из заводов тавровой стали по схеме III первый калибр первоначально имел форму овала. При этом захват в последующем ребровом калибре осуществлялся с трудом, так как поверхность соприкосновения полосы с валками при захвате крайне мала. Поэтому вместо овала применили грушевидную форму первого калибра, обеспечивающую хорошие условия захвата, но приводящую в последующем ребровом калибре к закату на наружной поверхности полок. В результате проведенных исследований было обнаружено, что при задаче прямоугольной или квадратной заготовки в грушевидный овал вследствие наиболее сильного обжатия части полосы, соответствующей тонкой части овала, в разъеме валков со стороны менее обжимаемой части наблюдалось переполнение. Образовавшийся заусенец толщиной 5—7 мм быстро охлаждался и вдавливался при прокатке в следующем ребровом калибре как инородное тело. После травления закат имел вид ленты, хотя на готовом профиле после значительной вытяжки не обнаруживался. При правке в холодном состоянии закаты раскрывались и образовывали продольные трещины.

Для предотвращения заката вторично изменили форму первого калибра, как это показано на рис. 27, а (схема III). Правильное заполнение калибра обеспечивается при этом выпуклой формой ручьев с левой стороны калибра.

Переполнения при этом не происходит и, кроме того, улучшаются условия захвата. Выпуклая форма левой боковой поверхности калибра способствует лучшему заполнению стенки в последующем ребровом калибре. При использовании такого калибра по рассматриваемой схеме можно прокатывать тавровую сталь различных размеров за счет изменения расстояния между валками и сечения исходной заготовки. Недостатком является клиновидная форма первого фасонного калибра, поэтому при выходе из валков происходит изгиб (серпение) полосы в сторону менее обжимаемой части. Поскольку искривление полосы для средних и крупных профилей полностью не устраивается даже при длинных выводных линейках, так как раскат имеет большую площадь поперечного сечения, то по длине полосы возможно смещение полок относительно стенки, что приводит к разной ширине полок на одной и той же полосе при деформации в ребровых калибрах. Для выравнивания ширины полок большое значение имеет конструкция последующих пластовых калибров.

После формирования таврового профиля в первом фасонном калибре дальнейшая прокатка производится в открытых ребровых и пластовых калибрах.

Расположение в валках ребровых калибров (т. е. формирование стенки в нижнем или в верхнем валке) не зависит от используемой схемы прокатки, а определяется типом стана и степенью его механизации. На мелкосортных станах с ручной задачей полос, где кантовка полос производится вручную против часовой стрелки, расположение калибра чистовой клети (стенка деформируется верхним валком) полностью предопределяет расположение всех остальных как ребровых, так и пластовых калибров. На среднесортных и крупносортных станах, на которых передача полос из клети в клеть (или из калибра в калибр) производится при помощи шлепперных устройств, ребровые калибры располагаются на валках стенкой вверх. На схеме III расположение калибров соответствует ручной кантовке.

Схема IV применяется для прокатки тавровой стали крупных размеров с высотой стенки 70—250 мм и общей шириной полок 70—200 мм и более. Толщина полок и стенки изменяется в пределах 6—20 мм. Схема IV может быть использована и для более крупных тавровых профилей с высотой стенки и общей шириной полок до 350—400 мм. При этом, возможно, в зависимости от размеров

профиля и соотношения между этими размерами придется увеличить число фасонных калибров.

Форма исходной заготовки, задаваемой на диагональ в первый фасонный калибр колокольного типа, зависит от соотношения общей ширины полок и высоты стенки готового профиля тавровой стали. Из правильного квадрата прокатывается тавровая сталь с шириной полок, равной высоте стенки. Для профиля с широкими полками целесообразно использовать ромбические сечения, из большой диагонали которого при задаче в колокольный калибр формируются полки тавровой стали. Из практики тавровых профилей можно принять, что сторона исходного квадрата, задаваемого на диагональ в колокольный калибр, должна быть равна или несколько больше максимального размера готового профиля тавровой стали. Так, например, для тавровой стали $75 \times 75 \times 8$ мм при прокатке по схеме IV применяется исходный квадрат со стороной 76—78 мм. Возможны, конечно, и отклонения от этого правила.

В случае каких-либо неточностей и ошибок при расчете калибровки или изменения условий заполнения тавровых калибров, например, вследствие износа, размеры исходного квадратного сечения при расположении квадратного калибра в валках на ребро могут регулироваться. В этом отношении применение ящичных калибров (расположение квадрата плашмя) несколько затрудняет регулировку, так как при изменении расстояния между валками исходное сечение получает форму прямоугольника.

По схеме IV первые по ходу прокатки два ребровых калибра предназначены для формирования стенки и увеличения ширины полок до расчетных размеров за счет их вынужденного уширения. Меняя величину обжатия полок в этих калибрах, можно получать различное вынужденное уширение.

В последующих пластовых калибрах увеличивается длина стенки, что достигается заранее предусмотренным их вынужденным уширением. Обжатие стенки доходит до двухкратного, и поэтому возможно, за исключением тонкостенных профилей, проектировать в предыдущих ребровых калибрах повышенную толщину стенки, тем самым предотвращая в этих ребровых калибрах защемление полос.

Преимуществом схемы IV по сравнению со схемой III является уменьшение числа кантовок при прокатке, что имеет существенное значение для станов без кантующих

механизмов. Схема IV применяется не для всего сортамента тавровой стали крупных размеров и в некоторых случаях может оказаться 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 схемам III или V.

При прокатке по схеме V тавровых профилей средних, и иногда и крупных размеров из легированной стали на станах с линейным расположением клетей возникает необходимость увеличения числа фасонных калибров. По схеме V прокатка тавровой стали производится в девять проходов, из которых пять ребровых калибров и четыре пластовых. Исходная заготовка имеет прямоугольное или квадратное сечение. Максимальные обжатия осуществляются в первых проходах при высокой температуре прокатываемых полос. Такое распределение обжатий позволяет прокатывать тонкостенную тавровую сталь с высокой точностью ее размеров. В чистовом и предчистовом калибрах отсутствуют резко выраженная неравномерная деформация, и расчетные данные калибровки вследствие незначительного вынужденного уширения становятся более точными и соответствуют фактическим размерам. При изменении условий прокатки (температура, износ валков) колебания размеров полос сравнительно небольшие, а чередование ребровых и пластовых калибров обеспечивает надежный контроль размеров стенки и полок профиля. Недостатком схемы V является большое число фасонных калибров и, следовательно, увеличение общего числа проходов. При этом возрастает объем работ вальцетокарной мастерской (обточка валков, изготовление шаблонов и резцов), усложняется настройка стана в процессе прокатки и требуется различная валковая арматура, особенно для тавровых профилей сложной формы. Вследствие увеличения числа проходов возможно снижение производительности стана. Предусмотренные по схеме V семь кантовок увеличивают процент ручного труда обслуживающего персонала на линейных станах, не оборудованных кантователями.

Схемы I—III (рис. 27, б) предназначены для прокатки тавровой стали на непрерывных станах. Преимуществом непрерывных станов является высокая скорость прокатки, что обеспечивает осуществление процесса прокатки в высоком и поэтому благоприятном диапазоне температур. При этом может быть уменьшено число проходов за счет более интенсивного формоизменения.

Уменьшается расход валков и электроэнергии. В калибрах, в которых происходит первоначальное формирование профиля, максимальные обжатия ограничиваются только диаметром валков и мощностью привода.

Схема I используется для прокатки тавровой стали мелких и средних размеров, схема II — средних и схема III — крупных размеров. Исходной заготовкой, за- даваемой в первый фасонный калибр, служит, как правило, квадрат. Использование формирующего коло- кольного калибра позволяет сформировать широкие полки и относительно высокую стенку. Для симметричной тавровой стали сторона исходного квадрата примерно равна высоте (или ширине) тавровой стали. Так, например, для тавровой стали 35×35 мм используется квадрат со стороной 35 мм, а для тавровой стали 50×50 мм — со стороной 48 мм.

При прокатке тавровой стали на непрерывных ста- нах рекомендуется выполнять основное правило — коэффициенты вытяжки по клетям должны быть такими, чтобы исходный тавровый раскат имел форму, геометрически подобную готовому профилю. При этом разница в коэффициентах вытяжки отдельных элементов (полок и стенки) профиля в каждой клети незначительна и соответственно выход полосы из валков прямолинейный при отсутствии внутренних напряжений. В пластовых калибрах обжатие полок по высоте на непрерывных станах в отличие от станов других типов достигает значительной величины и может составлять в предчистовой клети от 18 до 35 %.

При прокатке тавровой стали на непрерывных станах должно фиксироваться изменение крутящего момента от первой клети до чистовой таким образом, чтобы соблюдалась равномерность деформации по длине раската. Кроме того, тавровый профиль тяжело образует петлю. Поэтому прокатка производится с натяжением, соответствующим вытяжке от 3 до 4 %. Следствием натяжения является утолщение переднего и заднего концов прокатываемой полосы.

Особенно важное значение при прокатке тавровой стали на непрерывных станах имеет валковая арматура. В качестве вводной коробки можно использовать обычную роликовую коробку с двумя парами роликов. Такая коробка придает раскату достаточную устойчивость и исключает косую задачу полос и образование лампасов. Иногда изготавливаются вводные роликовые коробки отдельно для стенки и полок таврового раската.

ОСОБЕННОСТИ ПРОКАТКИ ТАВРОВОЙ СТАЛИ

Тавровая сталь и ее разновидности по форме по-перечного сечения относятся к фланцевым профилям. В отличие от простых сечений (полоса, квадрат и т. д.) при прокатке фланцевых и других сложных профилей равномерное обжатие в калибрах становится невозможным. При разработке калибровки тавровой стали и подобных профилей в случае одинакового относительного обжатия стенки и полок в пластовых и ребровых калибрах невозможно также получить необходимое исходное прямоугольное или квадратное сечение исходной заготовки. Поэтому приходится отказаться от правила одинаковых относительных обжатий во всех фасонных калибрах.

Обычно при калибровке профилей сложной формы неравномерную деформацию, как правило, стараются осуществить не во всех калибрах, а только в первых по ходу прокатки, когда металл имеет высокую температуру и более пластичен, чем в последующих проходах.

При прокатке тавровой стали в открытых калибрах на линейных, шахматных и зигзагообразных станах неравномерную деформацию предусматривают как в первых, так и в последних проходах, и только в чистовом калибре пытаются уменьшить степень неравномерности, чтобы избежать значительных перемещений металла и получить правильный по форме и не имеющий значительных внутренних напряжений готовый профиль.

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

На непрерывных станах, за исключением первых калибров, где производится первоначальное формирование профиля, рекомендуется так распределять коэффициенты деформации, чтобы исключить перетекание металла или существенно уменьшить перетекание металла в конце деформации из одних участков в другие. При этом приходится отказаться от отсутствия бокового обжатия в закрытых ручьях калибров. Последнее обстоятельство не всегда желательно, хотя при высокой температуре прокатки на непрерывных станах существенно уменьшается опасность защемления и оковывания валков.

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

В соответствии с ГОСТ и техническими условиями тавровая сталь обычно имеет постоянную толщину полок и небольшой (как правило, порядка 2 %) уклон наружных граней стенки. Такая конфигурация тавровой стали предопределяет чистовой калибр ребрового типа, т. е. с вертикальным расположением стенки. Отсутствие уклона граней полок на готовом профиле обуславливает, в свою очередь, и незначительный выпуск граней полок в предчистовом пластовом калибре. Увеличение уклона в пластовом калибре нежелательно, так как вызывает в чистовом калибре повышенное обжатие полок, особенно у их основания. Стенка профиля, получающаяся в чистовом калибре только высотную деформацию (осадку), будет иметь малый коэффициент вытяжки. Поэтому при выравнивании уклона полок в чистовом калибре, т. е. при получении постоянной толщины полок, будет наблюдаться вследствие неравномерной деформации вынужденное уширение полок, достигающее иногда 4—5 мм и более.

Повышенное вынужденное уширение полок нежелательно с точки зрения точности размеров готового профиля. Изменение условий прокатки (температуры, установки валков и т. д.) и вследствие этого колебание величины вынужденного уширения (при большом вынужденном уширении значительны и его колебания) могут 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 повышенные требования в отношении точности размеров.

Для того чтобы уменьшить уширение полок в чистовом ребровом калибре и перетекание металла из полок в стенку, следует изменить конструкцию ребрового калибра, предшествующего предчистовому. На рис. 28 приведена калибровка таврового профиля $35 \times 35 \times 4,5$ мм, прокатываемого ранее из ромбической полосы 65×35 мм на стане 240. Отличительной особенностью калибровки является постоянная толщина полок в ребровом калибре 4. Поэтому, хотя в калибре 5 предчистовой клети предусмотрены уклоны граней полок, полки из калибра 5 получаются постоянной толщины. Тог-

да в чистовой клети (калибр 6) возможно принять небольшой коэффициент обжатия полок, так как нет необходимости устранять их уклон. В результате коэффициенты деформации стенки и полок будут не столь существенно отличаться друг от друга и перетекание металла удастся свести к минимуму. Кроме того, уменьшится вынужденное уширение полок и повысится точность размеров готового профиля.

В черновых пластовых калибрах уклон (выпуск) закрытых ручьев, в которых деформируются полки про-

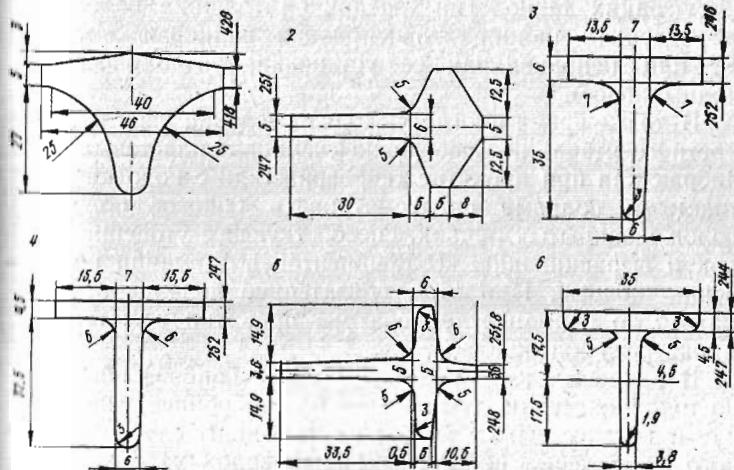


Рис. 28. Калибровка таврового профиля $35 \times 35 \times 4,5$ мм на стане 240.

фия, можно принимать больше, чем в предчистовом, 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 величины коэффициентов деформации и принятой схемы прокатки. При 7—8 фасонных калибрах и отсутствии резкого изменения по проходам можно не опасаться малых выпусков, если в них имеется необходимость. Тем более, что пластовые калибры, за исключением специальных тавровых профилей, симметричны или почти симметричны относительно горизонтальной оси и площадки полок не превышают площади стенки.

При боковом обжатии полок за счет их проволакивания в закрытых ручьях пластовых калибров силы, которые действуют на полосу со стороны нижнего и верхнего валков, при отсутствии каких-либо нарушений примерно одинаковы. Поэтому одностороннее защемление (верхним или нижним валком) не происходит. Выводные проводки с широкой горизонтальной поверхностью обеспечивают прямолинейный выход полосы из валков. Оковывание валков в пластовых калибрах может произойти только в исключительных случаях при грубых нарушениях технологии (различная толщина полок из предыдущего калибра, неисправная валковая арматура или неправильная ее установка, разлохмаченные концы полос).

В то же время иногда, исходя из условий работы конкретного стана, целесообразно в черновых пластовых калибрах или при прокатке тавровой стали с короткими и толстыми полками предусматривать боковое обжатие полок в закрытых ручьях, способствующее утонению полок и выравниванию коэффициентов деформации по сечению полосы. При этом обязательно должны приниматься во внимание температура прокатки и материал прокатываемой полосы.

В ребровых калибрах чем больше боковое обжатие по толщине стенки, тем сильнее одностороннее защемление и труднее выход полосы из валков. В случае сильного защемления полосы закрытый валок увлекает полосу за собой, выводная проводка закрытого ручья при малой ширине полок и непрочной средней части, соответствующей стенке, изгибается или даже ломается и происходит оковывание валка. Известны случаи [2], когда увеличение толщины стенки предчистового калибра всего на 0,2 мм приводило к оковыванию валка чистовой клетки.

Однако в первых по ходу прокатки ребровых калибрах, а также на непрерывных станах [8] часто предусматривается боковое обжатие за счет проволакивания. В качестве примера применения бокового обжатия в закрытых ручьях калибров можно привести калибровку тавровой стали $35 \times 35 \times 4,5$ мм (см. рис. 12). В ребровых калибрах 2 и 3 происходит резкое формоизменение полосы при значительном боковом обжатии стенки. В калибре 3 боковое обжатие стенки у основания составляет 5 мм. Хотя калибровка, представленная на рис. 12, длительное время применялась на линейном стане 250, ее вследствие ряда причин (боковое обжатие

стенки в калибрах 2 и 3, симметричный калибр 1, значительное обжатие стенки в предчистовом калибре 4) нельзя считать удачной и технологичной. Однако высокая температура прокатки в первых пропусках и усиленные выводные проводки уменьшают опасность оковывания валков. Выход полосы из валков облегчается за счет широкой средней части выводных проводок, соответствующих стенке, и широких крайних частей проводок.

При прокатке тавровой стали в открытых калибрах широко используется вынужденное уширение как с целью увеличения ширины полок в ребровых и высоты стенки в пластовых калибрах, так и вследствие различных условий формоизменения отдельных участков очага деформации в пластовых и ребровых калибрах. Уширение определяется на основании приведенных выше зависимостей или в отдельных случаях, особенно при прокатке несимметричной тавровой стали, принимается на основании практических данных.

При калибровке тавровой стали небольших и средних размеров вынужденное уширение обычно находится в пределах 5—15 мм в первых проходах и 0,5—6 мм в последних. Для тавровой стали крупных размеров уширение изменяется в пределах 8—25 мм в первых проходах и 1—8 мм в последних. Если уширение выбирается на основании практических данных, то в черновых калибрах его следует несколько занижать 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 изменяться только в сравнительно узких пределах допускаемых отклонений, оговоренных ГОСТ или ТУ.

На тех прокатных станах, в каждой клети которых осуществляется один проход (непрерывные, шахматные, зигзагообразные или чистовые линии мелкосортных станов с клетями типа переменное дуо), при освоении тавровых профилей целесообразно изготавливать валки с калибровкой по двум и более вариантам, что существенно 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 сложнее получить необходимые размеры по высоте стенки и ширине полок, в то время как получение размеров по толщине стенки и полок не вызывает труднос-

тей и определяется настройкой стана. Поэтому на практике обычно изготавливаются валки по одному варианту калибровки. В то же время на дублирующих калибрах производится углубление закрытых ручьев пластовых и ребровых калибров по одному или двум вариантам. При освоении тавровой стали в случае малой ширины полок или низкой стенки есть возможность перейти на дублирующие калибры с более глубокими врезами, тем самым компенсируя неточности расчетов формоизменения в тавровых калибрах. Поскольку прокатка тавровой стали производится в открытых калибрах со свободным уширением и, кроме того, ширина калибров проектируется больше расчетной, при ошибках в калибровке образования заусенцев не происходит. Подобный прием может быть использован и на станах трио в случае имеющихся дублирующих калибров.

В закрытых ручьях ребровых и пластовых калибров коэффициенты деформации значительно меньше, чем коэффициенты обжатия полок в ребровых и стенки в пластовых калибрах. Такое распределение коэффициентов деформации по отдельным участкам очага деформации приводит к утяжке высоты стенки или ширины полок в закрытых ручьях. Величина утяжки тем больше, чем меньше площади поперечного сечения слабообжимаемых участков. Поэтому при разработке калибровки величина утяжки должна компенсироваться несколько большим обжатием (осадкой) в закрытых ручьях калибра. Тогда при изменении условий прокатки не происходит незаполнения в закрытых ручьях, что особенно важно для предчистовых калибров, которые значительно влияют на размеры готового профиля.

Утяжка высоты стенки в ребровых и ширины полок в пластовых калибрах или определяется на основании приведенных выше теоретических зависимостей или выбирается, особенно для несимметричной тавровой стали сложной конфигурации, на основании практического опыта. Величина утяжки с учетом контролирующего обжатия для мелких размеров тавровой стали обычно составляет 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 участков профиля, прокатываемых в закрытых ручьях. Наименьшие значения утяжки принимают в чистовых калибрах при небольших коэффициентах обжатия полок. Если в чистовом калибре расчетная или выбранная утяжка высоты стенки окажется слишком велика по сравне-

нию с фактической, то происходит местная деформация конца стенки профиля. Конец стенки при повышенном обжатии расплющивается и заклинивается в закрытом ручье, в результате чего может произойти оковывание валка. Это явление может происходить и в черновых ребровых калибрах при малой толщине стенки прокатываемой полосы.

В ребровых калибрах, предшествующих по ходу прокатки пластовым, на внешних гранях полок обычно предусматривается вогнутость (калибр 3 на рис. 12) со стрелой прогиба до 10 мм для тавровой стали крупных размеров. Величина вогнутости зависит не только от размеров прокатываемой тавровой стали, но и от величины коэффициента обжатия стенки в последующем пластовом калибре. В последних по ходу прокатки черновых калибрах ребрового типа и при малых коэффициентах обжатия стенки в последующих пластовых калибрах поверхность внешних граней полок может быть без вогнутости. Основное назначение вогнутости в ребровом калибре — компенсировать уширение стенки в последующем пластовом калибре и избежать переполнения в разъеме валков со стороны наружных граней полок. Не следует смешивать переполнение в пластовых калибрах со стороны наружных граней полок (в результате такого переполнения образуется лампас) с образованием заусенцев, так как лампас при отсутствии грубых ошибок при проектировании калибровки не влияет на качество и размеры профиля, в то время как заусенцы обычно сопровождаются закатами. При прокатке тавровой стали в открытых калибрах на концах полок профиля в ребровых и конце стенки в пластовых калибрах заусенцы не образуются, так как в этих калибрах предусматривается свободное уширение стенки и полок.

Если при разработке калибровки тавровой стали вогнутость на наружных гранях полок ребрового калибра, предшествующего предчистовому пластовому калибру, выбрана без учета размеров готового профиля и величины коэффициентов деформации, то возможно переполнение (лампас) предчистового калибра, увеличивающее в этом калибре толщину полок у их основания. Вследствие этого возрастает среднее обжатие полок по толщине в чистовом ребровом калибре и при изменении условий прокатки происходит довольно значительное колебание величины общего уширения полок. В результате, особенно для тавровой стали специального назначения с узким полем допусков, размеры профиля по ширине полок

могут оказаться вне пределов допускаемых отклонений, что увеличит выход вторых сортовых и брака.

В ребровых калибрах колокольного типа, в которых первоначально формируется профиль, на внешней грани подошвы, наоборот, предусматривается выпуклость в форме треугольника. Эта выпуклость устраняется в последующем ребровом калибре, способствуя в последнем заполнению стенки и вынужденному уширению полок. В некоторых калибровках (см. рис. 27, а, схема III) колокольные калибры используются и в качестве промежуточных черновых калибров. Выпуклость в колокольном калибре зависит от условий деформации в последующем по ходу прокатки ребровом калибре. Если в последнем не предусмотрено бокового обжатия стенки, что обычно характерно для действующих калибровок, то выпуклость на внешней грани подошвы не должна быть чрезмерно большой. В противном случае в ребровом калибре при прокатке происходит смещение полосы в сторону стенки и вследствие этого защемление полосы в калибре в месте соединения стенки с полками. Поэтому необходимую длину стенки лучше получать в предыдущих пластовых калибрах за счет увеличения ширины исходной заготовки, а не предусматривать колокольный калибр с большим запасом металла, который пойдет на увеличение длины стенки в ребровом калибре.

Чистовой калибр при прокатке тавровой стали обычно является ребровым, т. е. с вертикальным расположением стенки. При врезе стенки в верхний валок обеспечивается надежная и устойчивая транспортировка полос по отводящим рольгангам и на холодильнике. Но при этом несколько ухудшаются условия работы валковой арматуры, в особенности верхней выводной проводки. Поэтому иногда для крупных тавровых профилей с длинной и тонкой стенкой предусматривается расположение стенки в нижнем валке, т. е. профиль в чистовом калибре прокатывается подошвой вверх. В этом случае 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 находится на рольгангах в устойчивом наклонном положении.

В ребровых чистовых калибрах поверхность полок, за исключением их кромок, формируется за счет непосредственного обжатия валками и поэтому соответствует заданной форме. На стенке профиля, которая прока-

тывается с небольшим уклоном граней, в месте соединения стенки с полками около окончания радиусов закруглений возникает заметный переход с уступом от радиусов к граням стенки. Причина этого заключается в отсутствии бокового обжатия стенки. Более резкий переход (в виде уступа или ступеньки) наблюдается при прокатке тавровой стали с постоянной толщиной стенки и тавриков с длинной и тонкой стенкой. Устранение или уменьшение уступа может быть достигнуто при увеличении толщины стенки у основания в предчистовом калибре и подбором радиусов закруглений.

Пластовое расположение чистового калибра, хотя, можно сказать, почти и не встречается на практике, однако по сравнению с ребровым имеет некоторые существенные преимущества. В пластовых чистовых калибрах практически отсутствует оковывание валков, так как эти калибры симметричны или почти симметричны относительно оси валков и имеют длинную стенку, для которой легко устанавливать широкие выводные проводки. В пластовом калибре контролируется ширина каждой полки и поэтому невозможна асимметричность подошвы относительно стенки. Кроме того, пластовое расположение чистового калибра улучшает условия работы предчистового калибра ребрового типа. В последнем можно предусмотреть отсутствие бокового обжатия стенки. При этом устраивается и защемление полосы в закрытом ручье.

В пластовом чистовом калибре не представляет особых трудностей получить постоянную толщину полок, т. е. без уклонов граней. Для этого следует предусмотреть постоянную толщину полок в предчистовом ребровом калибре и в чистовом калибре только контролировать ширину полок без обжатия их толщины.

К недостаткам пластового чистового калибра следует отнести не совсем ровную наружную поверхность подошвы в месте разъема валков. Эта неровность может быть сведена к минимуму за счет уменьшения зазора между валками. Иногда чистовой калибр проектируется балочного типа, но при этом затрудняется контроль ширины полок и возникает опасность защемления полосы.

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

При разработке калибровки тавровой стали толщина стенки у основания в исходном калибре, предшествующем по ходу прокатки ребровому, принимается равной или несколько меньшей, 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 исходном калибре, если получаемый в нем раскат должен задаваться в калибр пластового типа. Однако, как уже указывалось ранее, в пластовых калибрах можно предусматривать обжатие полок по толщине, особенно при длинной стенке и коротких полках.

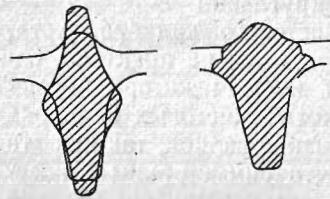


Рис. 29. Неправильное заполнение ребрового калибра при задаче в него полосы ромбической формы.

При прокатке тавровой стали по схемам II и III (рис. 27, а) в качестве исходной заготовки в виде исключения можно использовать ромб. Пример такой калибровки приведен на рис. 12. Поскольку ромб симметричен относительно обеих осей и меньшая диагональ ромба используется для получения полок профиля, то калибры 2 и 3 оказываются симметричными вертикальной оси. Раскат ромбической формы из калибра 1, задаваемый после кантовки на 90° в следующий калибр колокольного типа (рис. 29), на основании закона наименьшего сопротивления смещается в сторону нижнего валка и заклинивается в закрытой части калибра, соответствующей стенке профиля.

Полки колокольного калибра 2 и задаваемого в него раската не совпадают. Задаваемый раскат смещается таким образом, что полки раската попадают в закрытый ручей калибра 2 и претерпевают боковое обжатие за счет проволакивания. В месте разъема валков колокольного калибра образуются наплывы металла (рис. 29) и ширина полок может быть равной нулю. Значительное защемление раската в закрытом ручье калибра 2 резко ухудшает выход полосы из валков и создает повышенное давление на нижнюю выводную проводку. Средняя часть проводки, соответствующая стенке, может не выдержать такой повышенной нагрузки и изогнуться или даже совсем выйти из строя.

Кроме того, симметричная относительная вертикальной оси форма калибра 1, предшествующего ребровому калибру 2, вызывает повышенное обжатие стенки по высоте в последнем и ухудшает захват полосы. Вводные бо-

ковые проводки (пропуски) в ребровом калибре приходится смещать в сторону нижнего валка, чтобы углубления в проводках соответствовали полкам задаваемого раската. Однако несмотря на рассмотренные недостатки использования ромба в качестве исходного сечения калибровка, представленная на рис. 12, длительное время использовалась на линейном стане 250. В общем случае ромбическое сечение безусловно не следует применять в качестве исходного, особенно для тонкостенных тавриков с длинной стенкой и короткими полками. В то же время 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 тавровых профилей, особенно специального назначения, по техническим условиям требуется довольно точное расположение стенки профиля посередине подошвы. В этом случае при приемке ОТК готового профиля пользуются дополнительными контрольными шаблонами, позволяющими обнаружить смещение подошвы относительно стенки.

Обычная конструкция предчистового калибра пластового типа, особенно при значительном вынужденном уширении полок в чистовом калибре, может привести к большому количеству брака в результате несоблюдения допусков по симметричности. Применение добавочных проводок в вводной (приемной) коробке чистового калибра с целью получения симметричного профиля не дает существенного уменьшения брака и вторых сортов. В тесных пропусках вводной коробки полоса часто застревает и в это время конец задаваемой полосы быстро охлаждается водой, стекающей с бочки верхнего валка. При захвате покривевшего конца полосы валки выкрашиваются, а выводные проводки выходят из строя в результате поломок. Часто при прокатке происходит оковывание валков вследствие заклинивания стенки таврика в закрытом ручье чистового калибра, выводящее валок из строя. Металл, запрессованный в закрытом ручье, затрудняет переточку валков. Оковывание валков часто сопровождается их поломкой, поэтому установка добавочных проводок не нашла применения.

Надежное центрирование стенки в чистовом калибре достигается за счет местного утолщения основания стен-

ки задаваемого раската и уменьшения обжатия толщины полок в чистовом калибре.

Для тавровых 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 проводятся в этом случае так же, как и для симметричных тавровых профилей. Как для симметричных, так и для несимметричных тавровых профилей на ширину полок существенно влияет угол граней стенки в предчистовом пластовом калибре и угол стенки задаваемого в этот калибр раската. При повышенном уклоне стенки полосы при прокатке в предчистовом пластовом калибре стремится сместиться в сторону полок, в результате чего образуется лампас в разъеме валков со стороны наружной грани подошвы. По длине полосы степень образования лампасса различна. Поэтому в чистовом калибре по длине полосы получается различное обжатие толщины полок и соответственно различная их ширина, которая может выйти из допускаемых отклонений по ширине. С целью устранения этого дефекта следует в предчистовом калибре устанавливать хорошо закрепленные массивные линейки.

ВЫБОР ИСХОДНОЙ ЗАГОТОВКИ И ЧИСЛА ПРОХОДОВ

При прокатке тавровой стали в качестве исходной заготовки, задаваемой в первый фасонный калибр, используется обычно заготовка квадратного, прямоугольного, круглого и даже ромбического сечений. Выбор исходной заготовки должен учитывать сортамент стана, для которого проектируется калибровка. Наилучшим вариантом следует считать использование в качестве исходной заготовки уже прокатываемых на данном стане сечений заготовки. Таким образом, система вытяжных калибров должна быть общей для всех профилей, прокатываемых на стане, или же для отдельных групп профилей.

Число проходов при прокатке тавровой стали на станах с линейным, шахматным и зигзагообразным расположением клетей определяется типом принимаемой схемы прокатки и изменяется в пределах от четырех до девяти. Изучение опыта работы прокатных станов различных заводов позволяет утверждать, что наиболее рациональной является калибровка тавровых профилей по схемам II, III и IV (рис. 27, а). Безусловно, возможны от-

клонения от рассмотренных схем. Основой выбора схемы прокатки является форма тавровой стали, ее размеры, соотношения между размерами и требования к точности размеров. При этом калибровщик должен учитывать особенности прокатного стана, уровень его механизации и автоматизации. Большую помощь при выборе схемы оказывает изучение имеющихся калибровок тавровой стали.

Первоначальное формоизменение полосы в первых фасонных калибрах происходит в сложных скоростных и силовых условиях. Теоретические решения в этом случае отсутствуют и при определении размеров исходного сечения целесообразно пользоваться имеющимися экспериментальными зависимостями.

Исследование течения металла при прокатке заготовки ромбического или квадратного сечений в подготовительном ребровом или двух подготовительных ребровых калибрах выполнено еще Н. Мецем. Исследования проводились на стане 365 при прокатке тавриков 40×40 мм и 52×52 мм. Скорость вращения валков $n = 253$ об/мин. При опытах были применены винты, ввернутые в полосу перед прокаткой в холодном состоянии. Деформация винтовой нарезки в результате прокатки является показателем течения металла и позволяет судить о работе деформации в каждой точке. Винты, ввернутые горизонтально и параллельно оси валков, по изменению шага нарезки позволяют определить, какие части сечения подвергаются наибольшему уширению. После прокатки полэс с ввернутыми винтами производятся разрезы в плоскостях, содержащих винты. Поверхности разрезов полируются, обрабатываются раствором хлорной меди и затем фотографируются с некоторым увеличением. В результате экспериментов Н. Мецем получены зависимости между размерами исходной заготовки квадратного или ромбического сечения и размерами подготовительных ребровых калибров. Эти соотношения достаточно хорошо согласуются с практическими данными и при некотором уточнении могут быть использованы для расчета калибровок тавровых и им подобных профилей.

Примем следующие обозначения: b_t — горизонтальная диагональ исходного квадратного или ромбического сечения с закругленными углами; h_b — вертикальная диагональ исходного квадратного или ромбического сечения с закругленными углами; B_1 и H_1 — ширина и высота первого ребрового калибра; B_2 и H_2 — ширина и высота второго ребрового калибра.

При одном подготовительном ребровом калибре могут быть приняты следующие соотношения между b_r и B_1 : для квадратного исходного сечения $b_r = B_1/(1,05 \dots 1,15)$; для ромбического исходного сечения $b_r = B_1 (1,1 \dots 1,2)$. В приведенных зависимостях знаменатель в правой части должен уменьшаться с увеличением ширины B_1 ребрового калибра, т. е. общей ширины полок.

Для ромбического исходного сечения отношения вертикальной диагонали сечения к высоте ребрового калибра может быть принято в следующих пределах $h_b/H_1 = 1,3 \dots 1,5$. Если это отношение слишком велико и высотное обжатие превосходит допустимые пределы для рассматриваемого стана, то следует применять два подготовительных ребровых калибра и использовать в качестве исходного квадратное сечение. При этом горизонтальная диагональ квадратного сечения определяется из соотношения $b_r = B_2/(1,2 \dots 1,35)$. Здесь также знаменатель уменьшается с увеличением общей ширины полок. Отношение h_b/H_2 , обеспечивающее нормальный и устойчивый захват полосы, обычно изменяется в пределах 1,6...1,85.

Из опыта работы прокатных станов следует, что применение двух ребровых калибров позволяет получить большую ширину полок. Во втором ребровом калибре возможно в случае необходимости некоторое обжатие толщины стенки за счет проволакивания в закрытой части калибра. Высокая температура полосы и значительная толщина конца стенки, позволяющая установить массивную выводную проводку, обеспечивают прямой выход полосы из валков и предотвращают ее защемление. Этому также способствует неглубокий врез закрытого ручья и сравнительно большой уклон боковых граней стенки.

РАСЧЕТ КАЛИБРОВКИ ТАВРОВОЙ СТАЛИ

Расчет калибровки рассмотрим на примере тонкостенного таврового профиля $50 \times 41 \times 3,5 \times 3,8$ мм, предназначенного для тормозных колодок легкового автомобиля ГАЗ-24 взамен тормозных колодок, получаемых путем сварки из листовых заготовок. Этот профиль был освоен на мелкосортном линейном стане 250 Чусовского металлургического завода в 1971 г. [3]. Допускаемые отклонения по ширине и высоте профиля $\pm 1,0$ мм, по толщине полок и стенке $+0,3$ и $-0,5$ мм. Особенностью профиля является отсутствие уклона боковых граней

стенки и полок, что создает некоторые дополнительные затруднения при прокатке.

Стан 250 имеет расположение клетей в три линии (одна, две и пять клетей). На первой линии осуществляется пять проходов, на второй — три. Третья (чистовая) линия состоит из клетей типа переменное дуо, в каждой из которых делается один проход. На стане установлен реечный холодильник.

Расчет калибровки, как и обычно, ведем против хода прокатки. Принимаем типовую схему II с шестью фасонными калибрами, пять из которых размещены в валках чистовой линии, а один во второй клети второй линии. В первых по ходу прокатки пластовых калибрах кроме обжатия стенки происходит первоначальное формирование полок профиля. Глубокие врезы в валки плохо заполняются металлом, и поэтому при значительной ширине полок, приходится предусматривать в первом и втором пластовом калибрах большую ширину полок и тем самым сокращать утяжку полок в связи с увеличением их площади. Чтобы устранить искривление полосы в первых пластовых калибрах (как следствие неравномерной деформации по ширине), предусматривается с правой стороны калибра повышенное обжатие и установка длинных выводных липеек. С учетом условий работы стана принимаем коэффициенты обжатия h_0/h_1 полок в ребровых калибрах 2, 3 и 5 и стенки в пластовом калибре 4 соответственно 2,45; 1,36; 1,32; 1,29. Диаметр валков 260 мм.

Находим размеры готового профиля в горячем состоянии. Поперечное сечение очага деформации в ребровых и пластовых калибрах приведено на рис. 20. Введем дополнительные обозначения: для ребрового калибра $B_0 = 2b_0$ и $B_1 = 2b_1$ (рис. 20, а); для пластового калибра $B_0 = b_0 + b_{rp_0}$ и $B_1 = b_1 + b_{rp_1}$ (рис. 20, б).

Параметры процесса прокатки для ребрового калибра определяются формулами (1) и для пластового калибра формулами (5). Ширина подошвы $B_1 = 50 \cdot 1,013 = 50,6$ мм, высота стенки $H_1 = 41 \cdot 1,013 = 41,5$ мм. Принимаем с учетом допусков: $B_1 = 50,6$ мм, $H_1 = 41,2$ мм. Кроме того, полагаем: $2b_{rp_1} = 3,7$ мм, $h_1 = 3,5$ мм.

Так как в формулы (2) — (4) для определения параметров формоизменения λ , a_3 , δ в ребровом калибре и в формулы (6) и (7) для определения λ и a_3 в пластовом калибре входят неизвестные значения размеров полосы до пропуска, то наиболее целесообразным при расчете

калибровки является метод последовательных приближений [25].

Находим величину Θ по размерам полосы в чистовой клети (калибр 5)

$$\Theta = \frac{S_3 + S_4}{S_1 + S_2} = \frac{41,2 \cdot 3,7}{(50,6 - 3,7) \cdot 3,5} = 0,94,$$

где $S_3 + S_4 = H_1 b_p$, $S_1 + S_2 = h_1(b_1 - b_p)$.

Определяем m_1 :

$$m_1 = \frac{h_0}{b_1 - b_p} = \frac{3,5 \cdot 1,29}{0,5(50,6 - 3,7)} = 0,19.$$

Коэффициент вытяжки λ вычисляем из выражения (3):

$$\lg \lambda = [(0,7346 - 0,0933 \cdot 0,19) - (0,1617 - 0,056 \cdot 0,19) 0,93] 0,1106 = 0,0636,$$

тогда $\lambda = 1,16$.

Далее определяем H_0 без учета перетекания металла:

$$H_0 = H_1 \sqrt{\lambda} = 41,2 \sqrt{1,16} = 44,3 \text{ мм.}$$

Находим a_3 из формулы (2):

$$a_3 = 0,55 + 0,12(0,19 - 0,2) = 0,55.$$

Ширина полосы до пропуска в ребровом калиbre клети V по формуле, аналогичной (9)

$$B_0 = \frac{B_1}{a_3 + (1 - a_3) \frac{1}{\lambda \eta}} = \frac{50,6}{0,55 + (1 - 0,55) \frac{1,29}{1,16}} = 48,2 \text{ мм.}$$

Утяжку стенки по высоте находим из формулы (4)

$$\delta = \frac{H_0}{H_1} = \left\{ \frac{4,5}{44,3} \left[\frac{44,3 - 4,5}{4,5 \cdot \sqrt{1,16}} + 0,775 + \frac{0,55 \cdot 24,1}{1,85} \left(\frac{1}{1,16} - 0,775 \right) \right] \right\}^{-1} = 1,03.$$

Высота стенки с учетом перетекания металла

$$H_0 = \delta H_1 = 1,03 \cdot 41,2 = 42,4 \text{ мм.}$$

По уточненным значениям B_0 и H_0 находим $\Theta = 1,007$, $m_1 = 0,2$. Тогда из формулы (3) $\lg \lambda = 0,0624$, $\lambda = 1,154$.

Пересчитывая, получаем из выражения (2)

$$a_3 = 0,55 + 0,12(0,2 - 0,2) = 0,55.$$

Повторяя расчет по формулам (9) и (4), имеем

$$B_0 = \frac{50,6}{0,55 + (1 - 0,55) \frac{1,29}{1,154}} = \frac{50,6}{1,042} = 48,0 \text{ мм};$$

$$\delta = \left\{ \frac{4,5}{42,4} \left[\frac{42,4 - 4,5}{4,5 \sqrt{1,154}} + 0,775 + \frac{0,55 \cdot 24,0}{1,85} \times \left(\frac{1}{1,154} - 0,775 \right) \right] \right\}^{-1} = 1,02 \cdot 41,2 = 42,0 \text{ мм.}$$

Таким образом, получено почти полное совпадение значений B_0 и H_0 после двух расчетов.

Калибр 4 (предчистовой). Уклон наружных граней полок в пластовом калибре 4 принимаем равным 0,5 мм

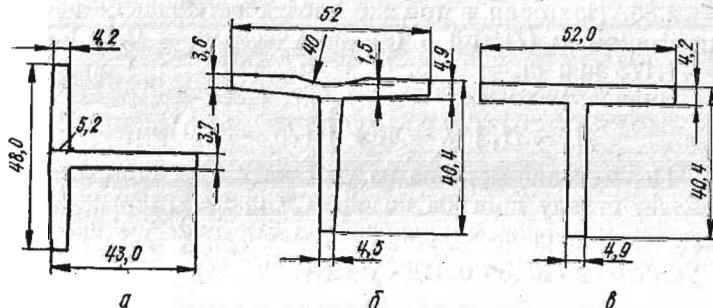


Рис. 30. Размеры калибра клети IV (a) и размеры полосы в клети III (b, c) при прокатке тавровой стали 50 × 41 × 3,5 × 3,8 мм.

на сторону. Величину обжатия по высоте стенки в калиbre 5 полагаем равной 1 мм. Тогда в пластовом калибре 4 имеем окончательно: $B_1 = 43,0$ мм, $H_1 = 48,0$ мм. Так как коэффициент обжатия стенки равен 1,32, то $2h_0 = 1,32 \cdot 2h_1 = 4,9$ мм. Чертеж калибра 4 приведен на рис. 30, a.

Из формулы (5) по размерам полосы в калибре 4 и известному размеру h_0 ($h_0 = 2,45$ мм) находим

$$m_1 = h_0/b_1 = 2,45/(43 - 5,2) = 0,065;$$

$$m_2 = h_0/b_p = 2,45/5,2 = 0,48;$$

$$\Theta = \frac{S_3 + S_4}{S_1 + S_2} = \frac{H_0 b_p}{h_0 (b_1 - b_p)} =$$

$$= \frac{(48,0 - 4,9) \cdot 4,5 + 5,2 \cdot 4,9}{(43 - 5,2) \cdot 4,9} = 1,19;$$

$$n = b_1/l = b_1/\sqrt{R \Delta h} = (43 - 5,2)/\sqrt{130 \cdot 1,2} = 3,02.$$

Из (7) определяем

$$a_3 = b_0 / b_0 = 0,417 - 0,275 \cdot 0,965 + 9,1 \cdot 0,48 = 0,447.$$

Вычисляем далее согласно выражению (6): $\lambda = 1,207$ при $m_2 = 0,4$; $\lambda = 1,146$ при $m_2 = 0,8$.

После интерполяции находим λ при $m_2 = 0,48$: $\lambda = 1,195$. Тогда по формуле (9)

$$b_0 = \frac{43}{0,447 + (1 - 0,447) 1,32/1,195} = 35,7 \text{ мм.}$$

Ширина полок

$$H_0 = H_1 \sqrt{\lambda} = 48 \sqrt{1,195} = 52,5 \text{ мм.}$$

Далее по уточненным значениям H_0 и b_0 получим из формулы (5): $m_1 = 0,0686$; $m_2 = 0,48$; $\Theta = 1,37$; $n = 2,86$. Повторяя в той же последовательности расчет по формулам (7), (6) и (9), получаем: $a_3 = 0,446$; $\lambda = 1,175$ при $m_2 = 0,48$; $b_0 = 35,5$ мм.

Зная λ , находим

$$H_0 = H_1 \sqrt{\lambda} = 48 \sqrt{1,175} = 52,0 \text{ мм.}$$

Перетекание металла из участка 2 в участок 3 определяет стрелу прогиба подошвы в предыдущем по ходу прокатки ребровом калибре. Из формулы (8) находим $Sabcd = 2 \cdot 35,5 \cdot 0,446 \cdot 2,45 (1,32/1,175 - 1) \approx 9 \text{ мм}^2$.

Учитывая, что при постоянной толщине стенки в калибре 4 и клинообразной форме стенки в калибре 3 будет происходить смещение задаваемой полосы в сторону полок, принимаем в калибре 3 стрелу прогиба углубления на наружной стороне полок равной 1,5 мм и радиус 40 мм. Назначая величины уклонов граней стенки и полок и уменьшая для предотвращения защемления толщину полок, получим окончательные размеры полосы в калибре 3 (рис. 30, б).

Калибр 3. Из рис. 30, б определяем среднюю толщину полок в калибре 3: $h_{1cp} = 0,5 (3,6 + 4,9) = 4,2 \text{ мм}$. Для расчета принимаем усредненные размеры стенки и полок в калибре 3 (рис. 30, в). Так как коэффициент обжатия полок в калибре 3:

$$1/\eta = 1,36, \text{ то } h_0 = 1/\eta h_1 = 1,36 \cdot 4,2 = 5,7 \text{ мм.}$$

Находим Θ и m_1 из формулы (1) по размерам полосы в калибре 3 и размеру $h_0 = 5,7 \text{ мм}$:

$$\Theta = \frac{40,4 \cdot 4,9}{(52 - 4,9) 4,2} = 1,0,$$

$$m_1 = \frac{5,7}{0,5 (52 - 4,9)} = 0,242.$$

Коэффициент вытяжки λ при $m_1 = 0,242 < 0,8$ определяется из формулы (3):

$$\lg \lambda = [0,7346 - 0,0933 \cdot 0,242 - (0,1617 - 0,056 \cdot 0,242) 1,0] 0,1335 = 0,0762, \lambda = 1,192.$$

Определяем H_0 без учета перетекания металла:

$$H_0 = H_1 \sqrt{\lambda} = 40,4 \sqrt{1,192} = 44,0 \text{ мм.}$$

Находим a_3 из формулы (5):

$$a_3 = 0,55 + 0,12 (0,242 - 0,2) = 0,555.$$

Ширина полосы до пропуска, согласно (9),

$$B_0 = \frac{52}{0,555 + (1 - 0,555) 1,36/1,192} = 49 \text{ мм.}$$

Высота стенки с учетом перетекания металла по формуле (4)

$$H_0/H_1 = 1,078, H_0 = 1,078 \cdot 40,4 = 43,5 \text{ мм.}$$

Так как получено почти полное совпадение двух расчетных значений H_0 (44 мм и 43,5 мм), то дальнейший пересчет не выполняем.

Радиусы закруглений, уклоны, контрольные обжатия в закрытых частях калибров, ширина открытых частей калибров выбираются конструктивно с учетом анализа действующих калибровок тавровых профилей.

В первых двух по направлению прокатки пластовых калибрах со стороны подошвы по условиям технологии образуется выпуклость, которая устраняется в калибрах 2 и 3. В калибре 2 выпуклость имеет форму треугольника с основанием 18,0 и высотой 6,0 мм. При деформации в калибре 3 этот избыток металла незначительно изменяет коэффициент вытяжки полосы и идет в основном на увеличение высоты стенки и вынужденного уширения полок.

Размеры фасонной полосы, задаваемой в пластовой калибр 1, и пластового калибра 1 определяются конструктивно на основании анализа действующих калибровок. Калибровка таврового профиля 50 × 41 × 3,5 × 3,8 мм, приведена на рис. 31.

Как было указано выше, тавровый профиль 50 × 41 × 3,5 × 3,8 мм прокатывается без уклонов наружных граней стенки и полок. Окончательные форма и размеры стенки профиля получаются при прокатке в

предчистовом пластовом калибре. При этом в калибре 3 приходится предусматривать несколько большую, чем по расчету, вогнутость, так как в следующем по ходу прокатки калибре 4 вследствие клиновидной формы стенки происходит смещение полосы в сторону подошвы.

По результатам опытной прокатки проведена незначительная корректировка.

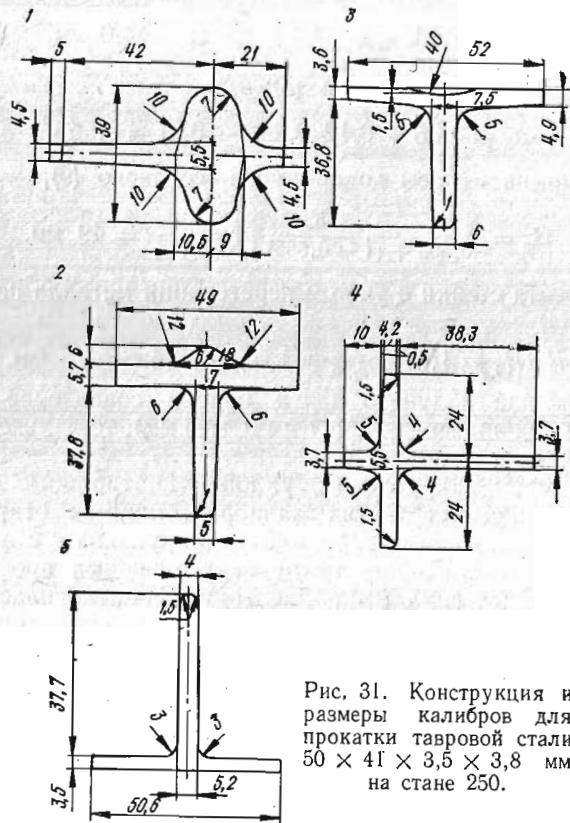


Рис. 31. Конструкция и размеры калибров для прокатки тавровой стали $50 \times 41 \times 3,5 \times 3,8$ мм на стане 250.

Так как ребровой калибр 5 (рис. 31) имеет уклон наружных граней стенки 1,5 % при постоянной толщине стенки готового профиля, то у основания стенки образуется незначительное утолщение ступенчатой формы. Этот выступ можно устранить почти полностью при подборе радиусов закруглений и тщательной установке валковой арматуры.

На рис. 32 приведена схема расчета калибровки тавровой стали $50 \times 41 \times 3,5 \times 3,8$ мм.

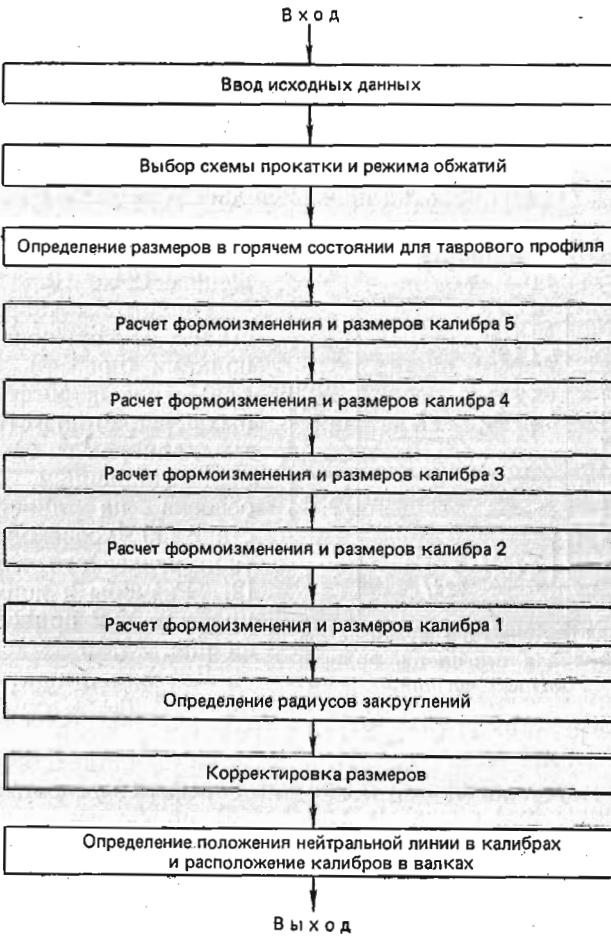


Рис. 32. Схема расчета калибровки тавровой стали $50 \times 41 \times 3,5 \times 3,8$ мм.

ПРОКАТКА И КАЛИБРОВКА ТАВРОВОЙ СТАЛИ СО СМЕЩЕННЫМИ ПОЛКАМИ

Тавровая сталь со смешенными полками длительное время, как и обычная тавровая сталь, прокатывалась в закрытых калибрах балочного типа с применением одного или двух ребровых калибров, в которых контролировалась высота стенки и обеспечивалось получение требуемой конфигурации и ширины полок.

Новая калибровка тавровой стали со смешенными полками (оконнорамные профили № 8 и № 8а) осваива-

лась на мелкосортном стане 260 металлургического завода им. Коминтерна.

Изменение калибровки и схемы прокатки оконнорамных профилей № 8 и № 8а было направлено на повышение механизации процесса прокатки, сокращение числа проходов и увеличение производительности стана. По принятой схеме прокатка производилась в закрытых калибрах балочного типа с применением одного ребрового открытого калибра. Общее число пропусков было уменьшено с 12 до 10.

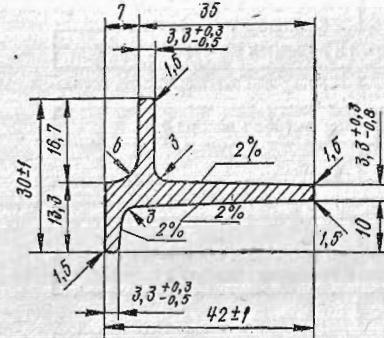


Рис. 33. Размеры и допуски профиля № 2 для переплетов промышленных зданий.

типовая схема II (рис. 27, а) с тремя ребровыми и тремя пластовыми калибрами. На чистовой линии стана, где задача полос при прокатке фасонных профилей выполняется вручную (без обводных аппаратов), производилось пять проходов. Первый фасонный калибр располагается во второй клети черновой линии, диаметры валков которой (365 мм) допускают применение повышенных обжатий по сравнению с последующими фасонными калибрами. Отсутствие кантовки при задаче полосы в первую клеть чистовой линии (калибр 2) положительно влияет на работу стана.

Ввиду отсутствия теоретических и экспериментальных зависимостей для определения формоизменения при прокатке тавровой стали со смещеными полками была использована методика расчета калибровки, основанная на имеющемся опыте прокатки тавровых профилей.

Вначале намечаются коэффициенты обжатия толщины стенки в пластовых и толщины полок в ребровых калибрах. Коэффициенты обжатия толщины стенки в пластовых калибрах должны выбираться исходя из следующих соображений. Высота исходного прямоугольного

или квадратного сечения, задаваемого в первый фасонный калибр, обычно равна или несколько больше [2] общей ширины полок готового профиля и для профиля № 2 составляет 32—33 мм. Средняя толщина стенки в чистовом калибре с учетом уклона боковых граней равна 4,2 мм. Общий коэффициент обжатия $1/\eta_0$ толщины стенки в предусмотренных схемой трех пластовых калибрах $1/\eta_0 = 33/4,2 = 7,85$. Распределяем общий коэффициент обжатия толщины стенки по калибрам 5, 2 и 1 следующим образом: $1/\eta_5 = 1,7$; $1/\eta_2 = 1,95$; $1/\eta_1 = 2,75$. Коэффициенты обжатия толщины полок в ребровых калибрах 6, 4 и 3 задаем на основании практического опыта применительно к условиям данного стана: $1/\eta_6 = 1,21$; $1/\eta_4 = 1,38$; $1/\eta_3 = 1,98$.

Задаемся величиной утяжки стенки (включая и контрольное обжатие в ребровых калибрах):

Калибр	Утяжка, мм
6	2,5
4	4,0
3	6,5

Утяжка обеих полок в калибре 5 равна 4 мм. На основании практических данных принимаем следующие величины уширения стенки в пластовых и полок в ребровых калибрах:

Калибр	Уширение, мм
6	0,6 (длинной полки) и 0,7 (короткой полки)
5	4,0 (стенки)
4	3,2 (длинной полки) и 2,2 (короткой полки)
3	1,8 (длинной и короткой полок)
2	5,0 (стенки)

Введем дополнительные обозначения для длинной полки: b_1 — ширина длинной полки; n_1 — толщина длинной полки у основания; n — толщина длинной полки на конце; h_1 — смещение наружных граней полок относительно друг друга.

Ширины короткой и длинной полок в процессе расчета определяются относительно средней толщины стенки c_c , а общая ширина полок B находится следующим образом:

$$B = b_1 + b + a,$$

где b — ширина короткой полки.

Пользуясь данными рис. 33, определяем размеры профиля в горячем состоянии.

Общая высота стенки $H = 1,013 \cdot 42 = 42,5$ мм.
 Общая ширина полок $B = 1,013 \cdot 30 = 30,4$ мм.
 Смещение наружных граней полок $h_1 = 1,013 \cdot 7 = 7,1$ мм.

Толщина стенки и полок на конце $c = a = n = 1,013 \cdot 3,3 = 3,4$ мм.

Вследствие того что минусовый допуск по толщине стенки и полок больше, чем плюсовой, несколько уменьшаем полученные размеры (c , a , и n) и принимаем $a = n = 3,2$ мм; $c = 3,3$ мм.

Калибр 6 (чистовой). Размеры чистового калибра принимаем равными горячим размерам профиля с учетом допускаемых отклонений. Определяем некоторые дополнительные размеры чистового калибра. Толщина стенки у основания d (по наружной грани короткой полки) при уклоне 2 %

$$d = 3,3 + 2 \cdot 42,5 \cdot 0,02 = 5 \text{ мм.}$$

Толщина стенки посередине

$$c_c = 1/2(5 + 3,3) = 4,15 \text{ мм.}$$

Ширина короткой полки

$$b = (10 + 3,3/2) 1,013 - 4,15/2 = 9,7 \text{ мм.}$$

Толщина короткой полки у основания

$$a_1 = a + 0,02b = 3,2 + 0,02 \cdot 9,7 = 3,4 \text{ мм.}$$

Средняя толщина короткой полки

$$a_c = 1/2(a_1 + a) = 1/2(3,4 + 3,2) = 3,3 \text{ мм.}$$

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

$$S_{\text{к.п}} = a_c b = 3,3 \cdot 9,7 = 32 \text{ мм}^2.$$

Площадь длинной полки

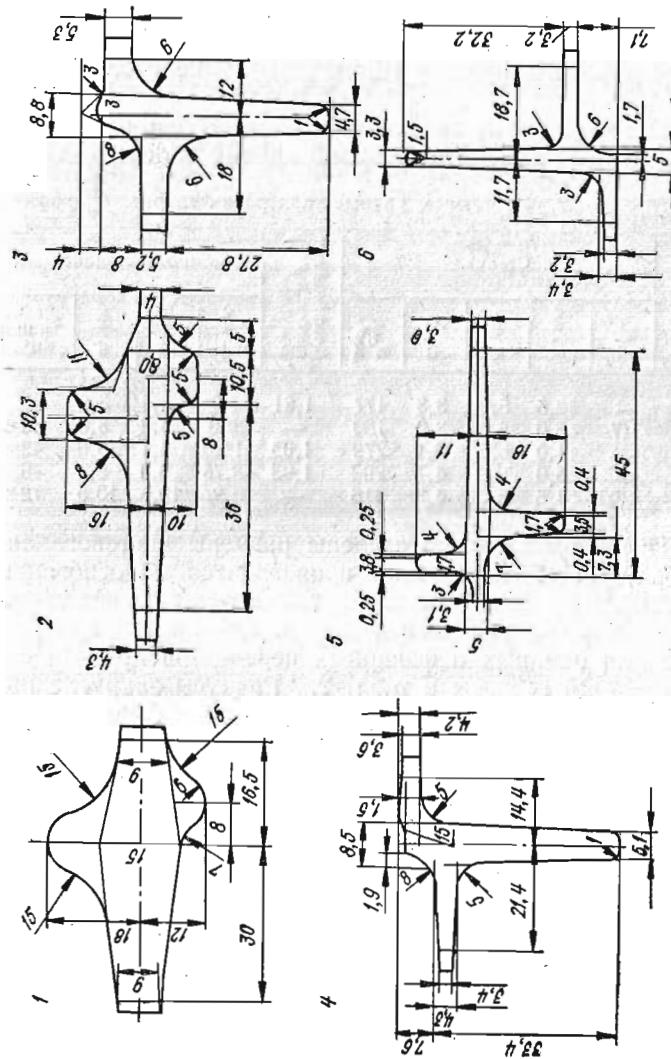
$$S_{\text{д.п}} = n_1 b_1 = 3,2 \cdot 16,55 = 53 \text{ мм}^2.$$

Площадь стенки

$$S_o = c_c H = 4,15 \cdot 42,5 = 177 \text{ мм}^2.$$

Площадь всего калибра

$$S = S_{\text{к.п}} + S_{\text{д.п}} + S_o = 32 + 53 + 177 = 262 \text{ мм}^2.$$



Калибровка тонкостенного профиля № 2 на стане 250.

Отсутствие по ГОСТу 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 чистого калибра, обеспечивающее получение стенки при меньших коэффициентах обжатия и некотором изменении схемы прокатки. В этом случае, чтобы получить уклон наружных граней полок в соответствии с ГОСТом, необходимо применить чистовой калибр балочного типа.

2. Расчетные данные калибровки таврового профиля

№ калибра	Стенка				Коэффициент обжатия по полкам $1/\eta$	Короткая полка				
	$\frac{1}{\eta}$	$H, \text{мм}$	$d, \text{мм}$	$c, \text{мм}$		$b, \text{мм}$	$a_1, \text{мм}$	$a, \text{мм}$	$S_{K, \text{мм}^2}$	
6	—	42,5	5,0	3,3	177	1,21	9,7	3,4	3,2	32
5	1,7	45,0	5,0	3,0	180	—	9,0	4,2	3,8	36
4	—	41,0	8,5	5,1	279	1,38	11,0	4,1	3,6	42
3	—	45,0	8,3	4,7	292	1,98	8,75	5,3	5,3	46
2	1,95	51,5	8,0	4,3	316	—	6,9	10,5	10,5	72

После того как определены размеры чистового калибра, расчет калибровки производится на основании принятых ранее коэффициентов обжатия, величин утяжек и уширения. Расчетные данные калибровки профиля № 2 для оконных и фонарных переплетов промышленных зданий сведены в табл. 2. Радиусы закруглений, величина выступа в ребровом калибре 3 и форма сопряжения наружных граней выбираются конструктивно на основании анализа действующих калибровок.

Первый фасонный калибр 1 и калибр 2 имеют пластовое расположение и подобны по форме. Размеры фасонного калибра 1 принимаем с учетом обеспечения заполнения полок в последующем по ходу прокатки калибров. Задаваясь величиной уширения в калибрах 1 и 2 (соответственно $\Delta B = 5 \text{ мм}$ и $\Delta B = 7,5 \text{ мм}$), получаем исходное прямоугольное сечение $33 \times 39 \text{ мм}$, которое целесообразно прокатывать по схеме: гладкая бочка — ребро — гладкая бочка или квадрат — гладкая бочка. В этом случае при настройке стана легко можно изменять размеры исходного сечения и таким образом регулировать заполнение первого фасонного калибра. Так как толщина прямоугольного сечения, задаваемого в калибр 1, определена с достаточной для практической работы

точностью, то в зависимости от условий работы данного стана калибр, предшествующий первому фасонному калибуру, может быть ребровым. Эта схема (гладкая бочка — ребро) при увеличенном зазоре между валками допускает изменение высоты ребрового калибра в широких пределах. Высота раскатка из ребрового калибра после кантовки является шириной прямоугольного сечения, задаваемого плашмя в первый фасонный калибр.

Окончательные размеры калибров для прокатки профиля № 2 приведены на рис. 34.

№ 2 со смещенными полками

Длинная полка				Площадь калибра, мм^2	Коэффициент вытяжки λ
$b_1, \text{мм}$	$n_1, \text{мм}$	$n, \text{мм}$	$S_{D, \text{мм}^2}$		
16,55	3,2	3,2	53	262	1,06
16,0	4,2	3,5	61	277	1,37
18,0	4,2	3,4	69	380	1,09
14,75	5,2	5,2	77	415	1,23
19,2	10,3	10,3	133	521	—

Для удобства построения и изготовления шаблонов ширина полок на рис. 34 дана по оси калибров. Кроме того, без указания размеров увеличена ширина полок в ребровых и длина стенки в пластовых калибрах, что обеспечивает свободное уширение и, следовательно, отсутствие переполнения при колебаниях уширения вследствие изменения условий прокатки. При разработке калибровки такое увеличение ширины является обычным и часто используемым приемом. Калибровки, в которых по каким-либо причинам ограничивают уширение в открытых частях тавровых калибров, менее рациональны и дают худшие результаты при прокатке.

Следует отметить, что точность приведенного расчета калибровки на основании принятых величин утяжек и уширения в очень большой степени зависит от опыта калибровщика и имеющихся практических данных по прокатке аналогичных, в данном случае тавровых профилей. Поэтому в целях получения при освоении профиля гарантированных размеров калибровщик обычно принимает завышенные величины утяжки и заниженное уширение. В результате при прокатке возможны повышенные обжатия в закрытых частях калибров, что, безусловно, отрицательно сказывается на технологичности и устойчивости процесса прокатки. Поэтому после освоения профиля на основании анализа темплетов проводится корректировка калибровки.

При определении нейтральной линии ребровых калибров использовалось правило контуров, заключаю-

щееся в следующем: нейтральная линия калибра проводится на половине расстояния между центрами тяжести контура калибра. При этом части контура, подвергающиеся обжатию лишь в результате уширения, при определении центра тяжести во внимание не принимаются.

Схема определения нейтральной линии ребровых калибров относительно горизонтальной базисной линии $x - x$ при прокатке профиля № 2 показана на рис. 35. Боковое обжатие стенки отсутствует.

Для ребровых калибров ордината центра тяжести контура нижнего вала (рис. 35)

$$y_1 = b_1 h_1 / b_1 = h_1.$$

Для верхнего вала

$$y_2 = \frac{c_c H + b_1 (h_1 + n_c) + b a_0}{c_c + b_1 + b}.$$

Ордината нейтральной линии

$$y = 1/2 (y_1 + y_2).$$

В пластовых калибрах нейтральная линия определялась по центру тяжести калибра.

При освоении профиля № 2 его размеры при первой опытной прокатке были получены в соответствии с ГОСТом. Однако на короткой полке готового профиля был обнаружен де-

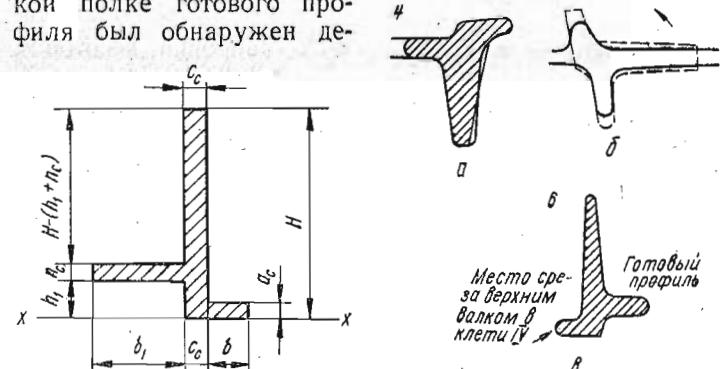


Рис. 35. Схема ребрового калибра при прокатке профиля № 2 для определения нейтральной линии.

Рис. 36. Схема возникновения дефекта при прокатке профиля № 2.

фект — срезанный внешний угол конца короткой полки по всей длине полосы. Причина возникновения этого дефекта, установить которую удалось только после второй опытной прокатки, заключается в следующем.

Так как в ребровых калибрах отсутствует обжатие толщины стенки, то степень незаполнения стенки по толщине зависит от настройки стана. При значительном незаполнении стенки в ребровом калибре 4 вследствие несимметричности профиля № 2 происходит изгиб стенки в сторону длинной полки (рис. 36, а). В предчистовом калибре 5 при пластовом расположении калибра стенка по сравнению с полками имеет значительно большее обжатие, которое и определяет положение задаваемого раскатка относительно калибра. В предчистовой клети задаваемый раскат со стенкой, отогнутой по часовой стрелке, поворачивается в противоположную сторону (на рис. 36, б, показано стрелкой) и конец короткой полки оказывается за пределами закрытого ручья верхнего вала предчистового калибра. По мере прохождения полосы по всей ее длине поверхностью верхнего вала (левой боковой гранью закрытого ручья) срезается на угол наружная часть короткой полки (рис. 36, в) и получается неисправимый брак, так как толщина короткой полки в чистовой клети не выравнивается. Угол короткой полки срезает при входе полосы в валки, что было 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 в калибре 4 на глаз не заметен.

При нормальном заполнении стенки в ребровом калибре 4 образования указанного дефекта не происходит.

ОСВОЕНИЕ ТАВРОВОЙ СТАЛИ 57×40×7×4 мм

На рис. 37 приведена калибровка таврика 57 × 40 × 7 × 4 мм из легированной стали, который прокатывался в 7 проходах на линейном стане 500, состоящем из трех клетей трио и одной клети дуо.

Чистовой калибр ребрового типа. Уклон наружных граней стенки на готовом профиле равен 1 %, толщина стенки у основания 4,8 мм, на конце — 4 мм. Толщина стенки в чистовом калибре с учетом максимального плюсового допуска должна быть у основания 5,1 мм, на конце — 4,3 мм. Чтобы уменьшить опасность защемления, толщина стенки на конце увеличена еще на 0,1 мм (рис. 37).

В период освоения профиля наибольшее количество брака получалось в результате несоблюдения довольно жестких допусков по симметричности стенки относи-

тельно подошвы (т. е. обеих полок). С целью снижения брака были испробованы на входе полосы в валки добавочные боковые проводки. Однако тесные боковые пропуски вводной коробки затрудняли задачу полосы, конец полосы охлаждался водой и при захвате его валками

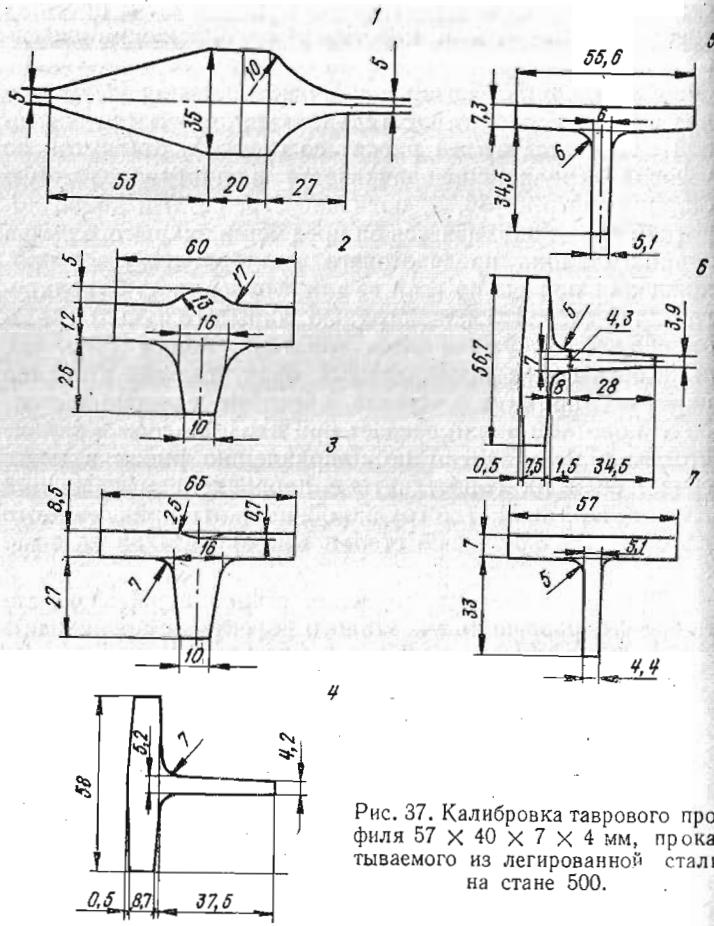


Рис. 37. Калибровка таврового профиля $57 \times 40 \times 7 \times 4$ мм, прокатываемого из легированной стали на стане 500.

происходили поломки выводных проводок и оковывание валков. Необходимо было найти такую форму предчистового калибра, которая обеспечила бы надежное центрирование стенки в закрытом ручье чистового калибра.

Поэтому было увеличено боковое обжатие основания стенки в чистовом калибре за счет местного утолщения стенки задаваемого раската (рис. 37). Значительное об-

жатие у основания стенки хорошо центрирует профиль по отношению к середине подошвы, и, кроме того, укрепляет самый ответственный участок профиля — соединение стенки с подошвой. При этом оказалось возможным расширить пропуски в чистовой вводной коробке и тем самым облегчить задачу полос. В результате прекратились случаи поломки проводок и оковывания валков.

Уменьшение колебания размеров по ширине профиля было достигнуто за счет уменьшения обжатия по толщине до 0,5 мм. При таком малом обжатии колебание размера по ширине зависел в основном от перепада температуры по длине полосы и не превышало 1,0 мм при допуске $-0, +1,5$ мм.

В ребровых калибрах (особенно в чистовом) обжатие стенки по высоте предусматривается только для контроля этого размера и не должно превышать толщины конца стенки. В противном случае происходит местная деформация конца стенки и изгиб самой стенки.

При разработке калибровки была допущена ошибка в величине уклонов наружных граней полок в предчистовом калибре. С внешней стороны выпуск составлял 3,5 мм, а с внутренней 1 мм. Поэтому при прокатке происходил изгиб подошвы в сторону разъема валков. Величина изгиба менялась в зависимости от температуры прокатываемой полосы, что приводило к значительным колебаниям ширины подошвы на готовом профиле. Кроме того, в результате несовпадения в предчистовом калибре радиусов закруглений задаваемой полосы и калибра в месте соединения стенки с полками образовывалась ступенька с острым ребром, являющаяся причиной заката на готовом профиле. Для устранения этих недостатков выпуск с внешней стороны был сделан равным 0,5 мм, а с внутренней — 1,5 мм. Такое изменение формы предчистового калибра значительно уменьшило изгибание подошвы и обеспечило совпадение радиусов закруглений. Образование заката прекратилось.

Однако полное предотвращение заката в этом месте достигнуто не было. Некоторые неточности при изготовлении валков или износ калибра во время прокатки приводят к образованию небольшой складки, а затем и к закату у основания стенки, который получается вначале не по всей длине полосы, а только на отдельных ее участках. Пробы темплетов готового профиля, взятые на травление от каждой десятой полосы, могут и не выявить закатов. Гарантией может служить лишь травление

целых полос. Поэтому при появлении заката следует обязательно переходить на дублирующие калибры.

При конструировании калибра 5 следует иметь в виду, что при большом обжатии стенки в калиbre 6 полоса выходит волнистой. В чистовом калибре волнистость может быть устранена частично или полностью, однако в готовом профиле возникают чрезмерные остаточные напряжения. Кроме того, в результате значительного обжатия стенки в калибре 6 форма переднего конца полосы имеет выступающую вперед стенку, что приводит к поломкам проводок и оковыванию валков при прокатке в чистовом калибре.

В калибрах 2, 3 и 4 формирование профиля ведется путем резких переходов с большими обжатиями имеющего высокую температуру металла. В двух последних проходках коэффициенты вытяжки по отдельным элементам профиля выравниваются, что обеспечивает незначительные колебания размеров готового профиля [15].

ИНЖЕНЕРНАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТАВРОВОЙ СТАЛИ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

Рассмотренная выше методика расчета формоизменения в пластовых и ребровых калибрах предназначена для симметричной или почти симметричной тавровой стали правильной формы. В то же время на действующих станах прокатывается довольно много типоразмеров тавровой стали сложной формы. При расчете калибровки таких тавровых профилей приходится использовать инженерные методы расчета, позволяющие в отдельных случаях получить достаточно точное представление о формоизменении в тавровых калибрах сложной формы.

Инженерные методы расчета рассмотрим на примере калибровки тавровой стали сложной формы (рис. 38), освоенной на линейном стане 300 [29]. Стан 300 состоит из двух линий по три клети трио в каждой линии. Для прокатки несимметричной тавровой стали (рис. 38) используется только первая линия стана. Материал валков первой линии — чугун. Длина бочки 1016 мм, межцентральное расстояние валков 365 мм. Заготовка нагревается в методической печи. Заготовкой для данного профиля служит квадрат 80 × 80 мм. Калибровка валков клети 1 первой линии одна и та же для всех профилей, прокатываемых на стане 300. В валках клети 1 расположены семь ромбических калибров со стороной 76; 68; 61; 54; 48; 43 и 38 мм и углом при вершине 100° и три квадрат-

ных калибра со стороной 43,5; 39,5 и 36 мм. Профиль прокатывается из стали 50.

Радиус закругления стенки несимметричного профиля тавровой стали (рис. 38) равен 7 мм. Полки профиля имеют различную форму и площадь и смешены по вертикали относительно друг друга. При прокатке профиля

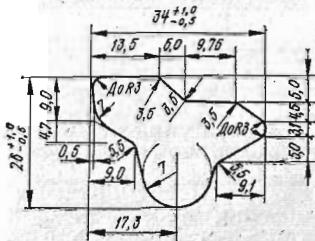


Рис. 38. Размеры и допуски несимметричного таврового профиля 34×26×9×14 мм.

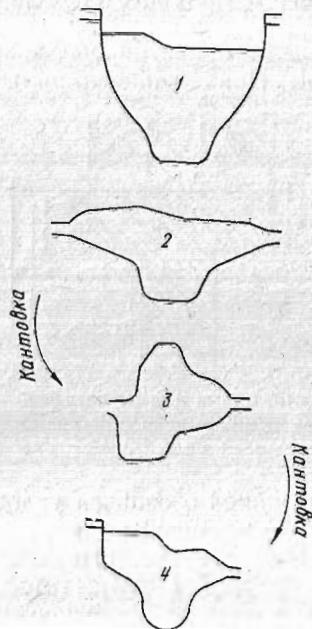


Рис. 39. Схема прокатки несимметричного таврового профиля 34 × 26 × 9. × 14 мм на стане 300.

согласно техническим условиям допускается незаполнение угла торцевой части левой полки.

Согласно методике калибровки, изложенной в работе [29], для прокатки таврового профиля была принята схема прокатки в открытых калибрах при полузакрытом чистовом калибре 4 (рис. 39). Предчистовой калибр 3 пластового типа предназначен для контроля ширины полок и получения полок определенной конфигурации. Кроме того, в пластовом калибре 3 предусматривается некоторое увеличение длины стенки за счет ее вынужденного уширения. Калибр 2 ребрового типа. В этом калибре происходит формоизменение стенки профиля и разгон полок до необходимой ширины. Первый по ходу прокатки колокольный калибр 1, хотя по конструкции с целью устранения свертывания и выполнен закрытым, но рассчитан на прокатку со свободным уширением. Ис-

ходная заготовка, задаваемая в колокольный калибр, представляет собой квадрат 36×36 мм. В процессе прокатки после калибров 2 и 3 производится кантовка раската на 90° .

Основным преимуществом принятой схемы прокатки является возможность регулировки заполнения предчистового и чистового калибров, от точности настройки которых зависит качество готового профиля. Кантовка в процессе прокатки обеспечивает хорошее удаление окалины. Применение открытых калибров при монтаже калибров на валках не требует массивных опорных конусов.

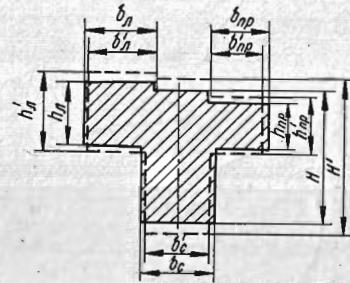


Рис. 40. Схема для расчета формоизменения в ребровом калибре 4.

вой линией обозначен условный контур полосы, задаваемой в чистовой калибре.

На схеме (рис. 40) обозначены средние величины размеров профиля. Размеры готового профиля в горячем состоянии получены умножением соответствующих размеров в холодном состоянии на коэффициент линейного расширения 1,013. Чтобы избежать сложной системы двойных индексов, когда по известным размерам одного калибра определяются размеры последующего, соответствующие размеры искомого калибра будем обозначать теми же буквами, но со штрихом.

Чистовой калибр — полуузакрытого типа, причем со стороны левой полки — закрытый, а со стороны правой — открытый. Таким образом, левая полка деформируется со стесненным уширением, а правая — со свободным. Поэтому для левой полки ориентировочно можно принять

$$1/\eta_{\text{л}} \approx \lambda_{\text{л}},$$

где $1/\eta_{\text{л}} = h'_{\text{л}}/h_{\text{л}}$ коэффициент обжатия левой полки; $\lambda_{\text{л}}$ — условный коэффициент вытяжки левой полки.

Стенка профиля при принятом делении профиля на элементы претерпевает только высотную деформацию и,

следовательно, для нее можно также принять

$$1/\eta_{\text{с}} = \lambda_{\text{с}},$$

где $1/\eta_{\text{с}} = H'/H$ — коэффициент обжатия стенки; $\lambda_{\text{с}}$ — условный коэффициент вытяжки стенки.

Правая полка при прокатке в чистовом калибре получает некоторое приращение шириной $\Delta b_{\text{пр}}$. Поэтому в равенство коэффициентов обжатия и вытяжки вводится коэффициент, учитывающий уширение. Тогда для коэффициента обжатия правой полки $1/\eta_{\text{пр}} = h'_{\text{пр}}/h_{\text{пр}}$ имеет равенство

$$1/\eta_{\text{пр}} = \frac{\lambda_{\text{пр}}}{1 - \Delta b_{\text{пр}}/b_{\text{пр}}},$$

где $b_{\text{пр}}$ — ширина правой полки после прокатки в чистовом калибре.

Так как в результате взаимодействия отдельных элементов профиля

$$\lambda_{\text{л}} = \lambda_{\text{с}} = \lambda_{\text{пр}} \approx \lambda, \quad (45)$$

где λ — коэффициент вытяжки в чистовом калибре, можно из выражения (45) определить условную высоту каждого элемента полосы, задаваемой в чистовой калибре. В результате получим для левой полки

$$h'_{\text{л}} = h_{\text{л}}/\eta_{\text{л}} \approx h_{\text{л}}\lambda;$$

для стенки профиля

$$H' = H/\eta_{\text{с}} = H\lambda;$$

для правой полки

$$h'_{\text{пр}} = h_{\text{пр}}/\eta_{\text{пр}} = \frac{h_{\text{пр}}\lambda}{1 - \Delta b_{\text{пр}}/b_{\text{пр}}}.$$

Уширение в чистовом калибре принимается на основании анализа практических данных при прокатке близких по конфигурации профилей в подобных условиях. Ширина левой полки $b_{\text{л}}$ и толщина (толщина) стенки $b_{\text{с}}$ выбираются конструктивно с учетом обеспечения устойчивого положения полосы в калибре:

для левой полки

$$b'_{\text{л}} = b_{\text{л}} - 0,2 \text{ мм};$$

для стенки профиля

$$b'_{\text{с}} = b_{\text{с}} - 0,2 \text{ мм}.$$

При этом свободное уширение было ранее учтено при определении b_{np} . Остальные элементы конфигурации калибра — радиусы закруглений, уклоны — выбираются конструктивно.

Для исключения переполнения в разъеме валков закрытой части калибра высота левой полки в калибре 3 уменьшается в конце полки, что достигается соответствующим уклоном верхней грани полки в калибре 3. Кроме того, с этой же целью на конце полки в калибре 3

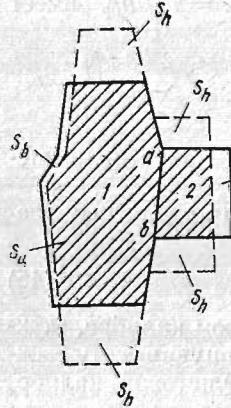


Рис. 41. Схема для расчета формоизменения в пластовом калибре 3.

ход, по мнению М. С. Мутьева [30], позволяет достаточно точно оценить уширение не только для простых, но и для сложных калибров. Для расчета приняты следующие обозначения: S_h — площади, смещенные по высоте; S_b — площади, смещенные по ширине; S_u — условная площадь центральной части профиля (заштрихованная площадь на рис. 41).

При расчете основных размеров калибра 2 полагаем, что условные коэффициенты вытяжки λ_1 и λ_2 участков 1 и 2 одинаковы. Коэффициент вытяжки λ в калибре 3 задается на основании анализа опыта работы прокатного стана.

Таким образом $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda$.

Согласно принятому равенству условных коэффициентов вытяжки λ_1 и λ_2 при прокатке в калибре 3 перетекание металла через границу ab участков 1 и 2 (рис. 41) отсутствует.

Определяем площадь полосы S_0 , задаваемой в пластовом калибр 3 (рис. 41, штриховая линия).

$$S_0 = S_u + \Sigma S_h, \quad (46)$$

где ΣS_h — сумма площадей, смещенных по высоте.

Площадь полосы S_1 после прокатки в пластовом калибре

$$S_1 = S_u + \Sigma S_b, \quad (47)$$

где ΣS_b — сумма площадей, смещенных по ширине.

Вычитая из равенства (46) равенство (47), получим

$$S_0 - S_1 = \Sigma S_h - \Sigma S_b,$$

или

$$S_1 (S_0/S_1 - 1) = \Sigma S_h (1 - c), \quad (48)$$

где $S_0/S_1 = \lambda$ — коэффициент вытяжки в калибре 3; $c = \Sigma S_b / \Sigma S_h$ — коэффициент смещения площадей в калибре 3.

Из выражения (48) определяем сумму площадей, смещенную по высоте в калибре 3:

$$\Sigma S_h = S_1 (\lambda - 1) / (1 - c). \quad (49)$$

В формуле (49) известны величины S_1 и λ . Коэффициент вытяжки в калибре 3 принят равным 1,25. На основании анализа практических данных по прокатке в подобных условиях отношение площади, идущей на уширение, к площади, смещенной по высоте, принимается в пределах 0,2—0,4. Тогда коэффициент $c \approx 0,35$. Так как условные коэффициенты вытяжки для участков 1 и 2 приняты равными друг другу и перетекание металла через границу ab отсутствует, то формула (49) может быть использована для расчета смещенной по высоте площади каждого участка. Определив для каждого участка S_h и задавшись конструкцией калибра 2, обеспечивающей устойчивое положение полосы в момент захвата, находим размеры калибра 2. При этом нужно учитывать, что при прокатке может изменяться величина S_h участка 1, так как участок 1 формируется в открытой части калибра. Участок 2 задаваемой полосы формируется в закрытой части калибра 2 и поэтому его конфигурация постоянна, если не учитывать износ валков. При повороте полосы относительно оси прокатки в момент задачи раскатка в валки может произойти перераспределение обжатий. В этом случае возможно переполнение стенки в калибре 3. Поэтому с целью устранения возможности переполнения

была увеличена длина стенки в калибре 3 таким образом, чтобы обеспечить свободное уширение стенки.

В калибре 2 принято свободное уширение полок. Величина уширения полок в этом калибре зависит от размеров задаваемой полосы (т. е. от степени заполнения калибра 1) и от положения задаваемой полосы при захвате ее валками. При расчете размеров калибра 1 было принято, что в калибре 2 деформация металла одинакова по ширине калибра. При деформации в калибре 2 стеки профиля, которая формируется в закрытом ручье нижнего валка, уширения не происходит и весь металл, смещенный по высоте, расходится на вытяжку. Поэтому $1/\eta = \lambda$. Полки профиля в калибре 2 имеют возможность деформироваться в поперечном направлении. Так как площадь стеки почти в три раза больше общей площади полок, то стеки оказывают значительное влияние на деформацию полок. Таким образом, при увеличении площади, смещенной по высоте, соответственно для полок профиля увеличивается площадь, смещенная по ширине, при постоянном коэффициенте вытяжки участка. Такая приближенная модель изменения упрощает расчет границы заполнения калибра 2 и соответственно упрощает расчет контура задаваемой полосы.

Ширина полосы b_0 , задаваемой в калибре 2, определяется из выражения

$$b_0 = b_1 - \Delta b,$$

где b_1 — оптимальная ширина полосы, которую желательно получить из калибра 2 для нормальной работы пластового калибра 3; $\Delta b = \Delta b_{\text{л}} + \Delta b_{\text{пр}}$ — общее уширение полок (подошвы) в калибре 2.

Величину уширения левой $\Delta b_{\text{л}}$ и правой $\Delta b_{\text{пр}}$ полок находим по величине смещенной площади, идущей на уширение. Смещенная по ширине площадь S_b для каждой полки определяется формулой

$$S_b = S_b - S_1(\lambda - 1), \quad (50)$$

где S_b — площадь, смещенная по высоте полки; S_1 — площадь полки после прокатки.

Формула (50) справедлива для определения уширения полок в случае равенства, условных коэффициентов вытяжки для участков профиля. В ней площади каждой полки S_1 определяются оптимальным размером ширины полки после прокатки и поэтому являются известными величинами. Известна также и величина коэффициента

вытяжки λ из принятого условия равенства условных коэффициентов вытяжки отдельных участков. Величиной S_h для каждой полки задавались из особенностей условий работы калибра 1. При принятой геометрии калибров и определенной величине S_b определялись величины уширения $\Delta b_{\text{л}}$ и $\Delta b_{\text{пр}}$ в калибре 2.

Исходными данными для конструирования калибра 1 являются величины b_0 и S_h , причем величины S_h для

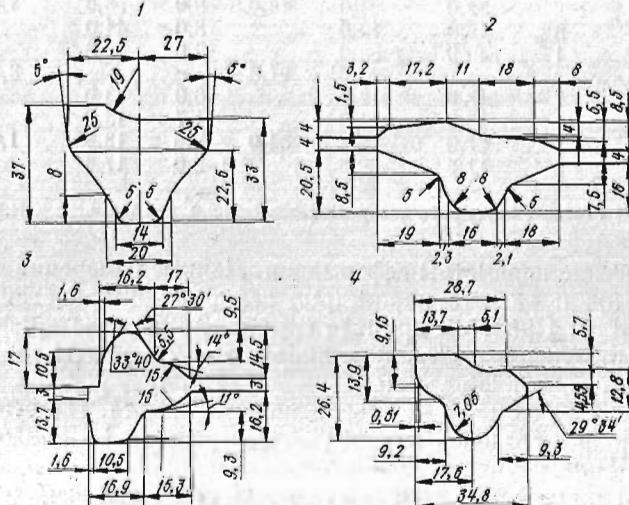


Рис. 42. Размеры и конструкция калибров для прокатки несимметричного таврового профиля 34 X 26 X 9 X 14 мм на стане 300.

каждой полки корректируются с учетом условий захвата в калибре 1.

Окончательная конструкция калибров и размеры калибров при прокатке тавровой стали приведены на рис. 42.

При разработке схемы расположения калибров в валках учитывалась необходимость независимой регулировки валков для каждого фасонного калибра. Поэтому четыре фасонных калибра были размещены во второй и третьей клетях трио (по два калибра в каждой клети). Такое расположение калибров создает весьма благоприятные условия для регулировки степени заполнения калибров 4 и 3.

При освоении профиля тавровой стали по рассчитанной калибровке были взяты темплеты и определены фак-

3. Результаты измерения темплетов и

Калибр	Участок	$h'_{\text{ср}}$, мм	$h_{\text{ср}}$, мм	b , мм	Δh , мм	$\Delta h / \Delta h'_{\text{ср}} \cdot \%$	Δb_s , мм
1	1	47,0	31,0	44,5	16,0	34,1	—
2	1	17,5	12,5	5,0	28,6	—	4,5
2	2	32,0	24,0	49,0	8,0	25,0	—
3	3	18,0	10,0	8,0	44,0	—	—
3	1	49,0	33,0	27,5	16,0	33,0	3,5
3	2	18,0	12,0	6,0	33,0	—	—
3	1	13,0	11,3	1,7	13,0	—	—
4	2	27,0	22,4	34,0	3,6	13,3	1,0
4	3	11,5	9,5	2,0	17,4	—	—

* Размеры исходного квадрата следующие: $h'_{\text{ср}} = 47$ мм, $b = 44,5$ мм.

тические параметры деформации. Данные измерения темплетов и расчета параметров деформации приведены в табл. 3. При принятом следующем делении профиля на отдельные участки: калибры 4 и 2 разбиты на три участка, причем участок 1 — левая полка, участок 2 — стенка, участок 3 — правая полка профиля. Пластовый калибр 3 разделен на два участка: участок 1 — подошва профиля и участок 2 — стенка.

При освоении профиля тавровой стали получено очень близкое совпадение расчетных и фактических размеров и параметров деформации [7].

ПРОКАТКА НЕСИММЕТРИЧНОЙ ТАВРОВОЙ СТАЛИ И ТАВРОВОЙ СТАЛИ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

На рис. 43 приведены некоторые профили, которые представляют собой разновидности тавровой стали и могут прокатываться по тем же схемам в открытых калибрах со свободным уширением [2].

Для тавровых профилей с различной шириной полок (рис. 43, а) существуют два метода прокатки:

1. Первый фасонный калибр имеет одинаковые по ширине полки. Полка меньшей ширины получается при обжатии ее в последующих по ходу прокатки пластовых калибрах.

2. Полки первого фасонного калибра различны по ширине. Но и в этом случае рекомендуется большее обжатие ширины узкой полки в последующих пластовых

расчета параметров деформации

S_0 , мм^2	S_1 , мм^2	λ участка	λ	S_h , мм^2	S_B , мм^2	S_B/S_h	Угол захвата, °
980	—	—	1,225	300	80	0,277	18
240	189	1,27	1,270	290	69	0,238	15
570	445	1,27	1,270	290	69	0,238	15
170	135	1,27	1,240	240	90	0,382	18
597	482	1,24	1,240	240	90	0,382	18
172	137	1,24	1,240	240	90	0,382	18
112	98	1,15	1,200	121	10	0,82	8
404	320	1,25	1,200	121	10	0,82	8
103	90	1,15	1,200	121	10	0,82	8

$$S_0 = 1200 \text{ mm}^2.$$

калибрах, в которых осуществляется контроль ширины полок.

Тавровая сталь с очень укороченной стенкой (рис. 43, б) или, наоборот, с малой шириной полок (рис. 43, в) прокатывается из прямоугольной исходной заготовки по обычной схеме с чередованием ребровых и пластовых открытых калибров. Первый фасонный калибр должен быть ребровым для тавровой стали с короткой стенкой и пластовым для профилей с длинной стенкой и короткими полками. Для тавровой стали с широкими полками и короткой стенкой, кроме прямоугольного, используется в качестве исходного сечения ромб или овал.

Тавровая сталь с различной толщиной стенки (рис. 43, г, д, е) должна прокатываться с применением чистового калибра пластового типа, в котором окончательно формируется заданная конфигурация стенки. В предшествующих по ходу прокатки калибрах стенка имеет обычно постоянную толщину. Если разница в толщине стенки готового профиля существенна, то формирование стенки должно начинаться уже в черновых калибрах.

В тех случаях, когда толщина стенки у основания больше, чем на конце, для прокатки такой тавровой стали можно использовать типовые схемы прокатки.

Профиль по рис. 43, ж прокатывается как обычная тавровая сталь и при этом ребровые калибры чередуются с пластовыми, в которых производится обжатие подошвы по ширине.

Тавровая сталь с различной толщиной полок (рис. 43, з, и, к, л, м) может быть получена по одной из типовых схем, приведенных на рис. 27, а. В первых фасонных калибрах производится формирование полок с учетом того, что в последующих ребровых калибрах коэффициенты обжатия тонкой и толстой полок по толщине должны

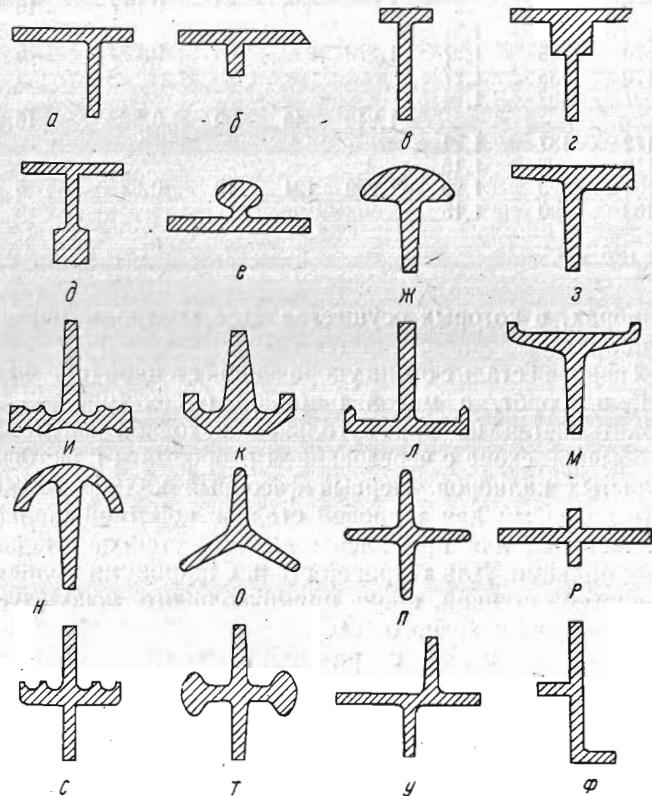


Рис. 43. Несимметричные тавровые профили, прокатываемые в открытых калибрах со свободным уширением.

быть равными. Более того, принимая во внимание температуру и другие факторы, для тонкой полки желательно иметь несколько большие коэффициенты обжатия. Такое распределение обжатий предотвращает скручивание в последующих по ходу прокатки ребровых калибрах и не сказывается на технологическом процессе. В условиях работы пластовых калибров неодинаковая толщина полок не вносит по существу никаких изменений.

Если подошва тавровой стали имеет дугообразную форму (рис. 43, н), то такой профиль прокатывается как обычная тавровая сталь, но с двумя ребровыми последними калибрами, в которых и осуществляется требуемый изгиб полок.

Если три ветви профиля образуют углы по 120° (рис. 43, о), то для всех проходов проектируют ребровые калибры, причем две ветви в каждом калибре формируются в результате непосредственного обжатия их толщины, а одна ветвь в закрытом ручье калибра. После каждого прохода предусматривается кантовка на 120°. Подобным образом целесообразно прокатывать профиль тракторной шпоры, придавая профилю окончательную форму в чистовом калибре.

Крестообразные симметричные (рис. 43, п, р) и несимметричные профили прокатываются с переменным чередованием ребровых и пластовых калибров. В качестве исходной заготовки может использоваться прямоугольное или квадратное сечение для симметричных крестообразных профилей и прямоугольное, квадратное, ромбическое или овальное — для несимметричных профилей. С учетом особенностей работы отдельных прокатных станов и в зависимости от размеров тавровой стали и их соотношения возможно, а иногда и необходимо, некоторое видоизменение схем прокатки для крестообразной стали, а также и для других тавровых профилей (например, когда два ребровых калибра располагаются один за другим). Для симметричной крестообразной стали или при небольшой ее симметричности нет разницы между ребровыми и пластовыми калибрами, которые имеют подобную форму.

При разработке калибровки не следует предусматривать более двух калибров одного типа (ребровых или пластовых), следующих один за другим, так как на боковых гранях свободно уширяющихся участков профиля могут образоваться неустранимые в дальнейшем рвы или трещины, приводящие к браку на готовом профиле. Поэтому наиболее целесообразной с этой точки зрения оказывается кантовка полосы после каждого прохода, хотя, как указывалось выше, допускается при хорошем качестве прокатываемой стали кантовка через два или даже через три прохода (последнюю схему по возможности не следует применять).

Орнаментные профили крестообразной формы (рис. 43, с, т), имеющие фигурные украшения, прокатываются по схемам крестообразной стали. Фигурная

конфигурация ветвей профиля формируется за один или два прохода в открытых калибрах.

Для специальной тавровой стали со смещенными полками одинаковой или различной ширины (рис. 43, *y*, *f*) необходимо сохранить это смещение полок во всех черновых калибрах. Исходная заготовка имеет квадратное или прямоугольное сечение, задаваемое плашмя в первый фасонный калибр пластового типа.

Ограничиваюсь приведенными примерами, следует заметить, что для разнообразных профилей, по форме подобных тавровой стали, также рационально применять метод прокатки в открытых ребровых и пластовых калибрах со свободным уширением. Расширение сортамента этих профилей, хотя и требует известного опыта калибровщика, в то же время не вызывает затруднений при прокатке.

ПРОКАТКА СПЕЦИАЛЬНЫХ ТАВРОВЫХ ПРОФИЛЕЙ

На рис. 44 приведены размеры специальных тавровых профилей 59 × 92 мм (рис. 44, *a*) и 59 × 102 мм (рис. 44, *b*), прокатка которых освоена на крупносортном стане 500 [31]. Площадь поперечного сечения готового профиля

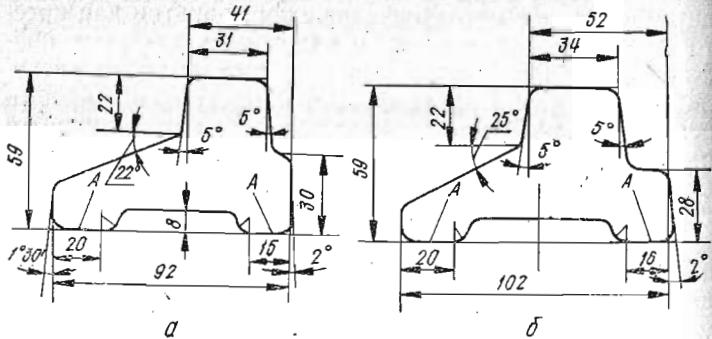


Рис. 44. Тавровые профили специального назначения 59 × 92 мм (*a*) и 59 × 102 мм (*b*).

59 × 92 мм равна 3300 мм², профиля 59 × 102 мм — 3600 мм².

Для этих профилей характерно наличие утолщенной стенки с закруглением углов радиусом до 8 мм и полок разной ширины. При этом длинная полка имеет трапециевидную форму с отношением ширины к средней толщине, примерно равным двум, а короткая полка —

прямоугольную форму. Ширина длинной полки обоих профилей одинакова (50—51 мм), а узкой — разная. Ширина узкой полки профиля 59 × 102 мм равна 18 мм, профиля 59 × 92 — 10 мм.

На наружной поверхности полок (рис. 44) есть канавка глубиной 8 мм с закруглением углов по радиусу, 5 мм. На участках *A* наружных поверхностей (рис. 44) полок профилей утяжка не допускается. При формиро-

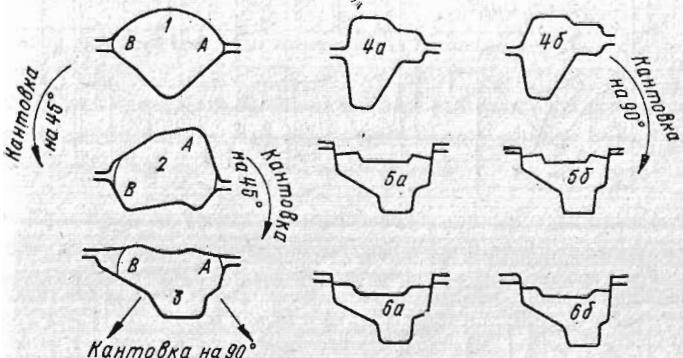


Рис. 45. Схема прокатки тавровых профилей 59 × 92 мм и 59 × 102 мм.

вания профилей возможно незаполнение углов в разъемах числовых калибров радиусом до 10 мм.

Схема прокатки тавровых профилей 59 × 92 мм и 59 × 102 мм представлена на рис. 45 [31]. Исходная заготовка сечением 97 × 97 мм и закруглением углов радиусом 25 мм. Первые три фасонные калибра (рис. 45) являются общими для обоих профилей. Распределение коэффициентов вытяжки по ходу прокатки для профиля 59 × 92 мм: 1,14; 1,16; 1,24; 1,205; 1,191; 1,43 и для профиля 59 × 102 мм: 1,14; 1,16; 1,24; 1,14; 1,165; 1,172. Перед каждым калибром, за исключением чистовых, предусматривается кантовка. Калибры 1, 2 и 3 выполнены со свободным уширением, причем заполнение этих калибров может легко регулироваться за счет настройки стана. Размеры шаблонов калибров для прокатки профилей 59 × 92 мм и 59 × 102 мм приведены [31] на рис. 46.

Чистовые и предчистовые калибры для обоих профилей (рис. 46) выполнены закрытыми с разъемом в одну и ту же сторону. Прокатка в этих калибрах производится со стесненным уширением. Особенностью принятой схемы прокатки (рис. 45) является то, что заполнение

предчистового и чистового калибров практически не может регулироваться изменением ширины полок в предчистовом пластовом калибре, так как при этом изменяется (увеличивается или уменьшается) толщина стенки раската. Задача же в предчистовые калибры полосы

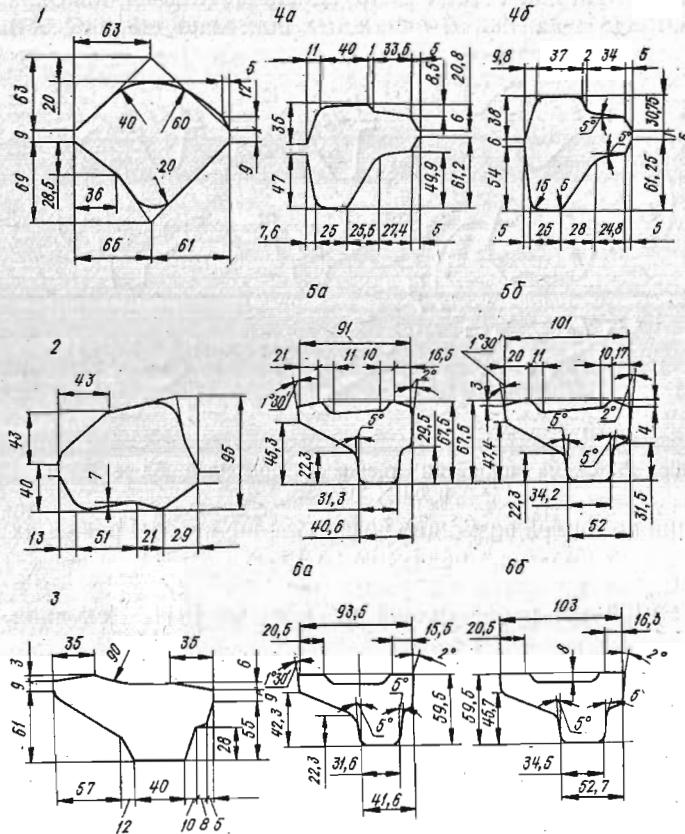


Рис. 46. Калибровка тавровых профилей 59 × 92 мм и (калибры 1, 2, 3, 4а, 5а, 6а) и 59 × 102 мм (калибры 1, 2, 3, 4б, 5б, 6б).

с утолщенной стенкой недопустима, так как может привести к свертыванию полосы в калибре или к защемлению стенки и оковыванию валка. При тонкой стенке не гарантируется формирование ее боковых граней. Оптимальная толщина стенки, формируемой в предчистовом пластовом калибре, была выбрана [31] с учетом бокового ее обжатия (примерно 0,2 мм) в предчистовом калибре.

В процессе настройки стана и последующей прокатки стенка профиля после пластового калибра 4 контролируется специальным шаблоном, выполненным в соответствии с ручьем нижнего вала в предчистовом калибре.

При общих калибрах 1, 2 и 3 (рис. 45 и 46) уширение в пластовых калибрах 4а и 4б различное при одном и том же сечении полосы из калибра 3. Для определения уширения фасонную полосу из калибра 3 разбили на два элемента (элемент I — полки профиля, элемент II — стенка профиля), границу между которыми провели между вершинами углов, образованных полками и боковыми поверхностями стенки. Как показал опыт [31], при отношении площадей элементов I и II, равном 4,8—5,0, деформация элемента I оказывает существенное влияние на деформацию элемента II, которое проявляется в выравнивании их коэффициентов вытяжки.

При этом отсутствует перетекание металла через границу элементов I и II. Коэффициент вытяжки элемента I определяется так же, как и при прокатке полос в ребровых калибрах с учетом одностороннего уширения. При условии равенства коэффициентов вытяжки элементов I и II по известной площади элемента II, смещенной по высоте, определяется площадь, смещенная по ширине, и соответствующее ей уширение. Анализ размеров и конфигурации темплетов, взятых для калибров 3 и 4а и 4б, показал, что в пластовом калибре для профиля 59 × 92 мм коэффициенты вытяжки равны: $\lambda_I = 1,21$; $\lambda_{II} = 1,205$; $\lambda_{cp} = 1,208$ и для профиля 59 × 102 мм: $\lambda_I = 1,148$; $\lambda_{II} = 1,142$; $\lambda_{cp} = 1,144$, т. е. коэффициенты вытяжки элементов I и II примерно равны. При прокатке профиля 59 × 92 мм уширение стенки в пластовом предчистовом калибре значительно больше, чем при прокатке профиля 59 × 102 мм. Поэтому при контроле размеров полос в процессе прокатки профиля 59 × 102 мм стенка полосы из пластового калибра должна в отличие от профиля 59 × 102 мм входить в контрольный шаблон с некоторым зазором. При этом обеспечивается боковое обжатие стенки в предчистовом калибре за счет высотной деформации.

Уширение элемента I в предчистовом ребровом калибре (калибры 4а и 4б) существенно влияет на заполнение предчистового и чистового калибров. В калибре 3 (рис. 46) предусматривается на наружной стороне подошвы формирование желоба в виде сегмента с радиусом 90 мм и глубиной 6 мм. Такое предварительное формирование желоба необходимо для компенсации

утяжки наружных поверхностей A полок профилей. При анализе размеров и конфигураций темплетов установлено, что глубина желоба с 6 мм в калибре 3 уменьшается до 3,5 мм в калибре 4a и до 4,5 мм в калибре 4b. Уменьшение глубины желоба вызывает увеличение неравномерности деформации по ширине полосы в предчистовых калибрах и может привести к утяжке участков A наружной поверхности полок.

Опыт производства тавровых профилей 59 × 92 мм и 59 × 102 мм показал, что при прокатке в предчистовых калибрах происходит утяжка на поверхности A коротких полок величиной до 25–32 мм². В чистовых калибрах эта утяжка полностью устраняется. На готовых профилях имеется некоторое незаполнение угла на концах длинных полок. Радиус закругления составляет до 5 мм.

В чистовых калибрах отсутствует защемление стенки. Для предотвращения оковывания валков предусмотрено нижнее давление в предчистовых и чистовых калибрах, равное соответственно 2,5–3,0 мм и 2,0 мм. Большое значение для предотвращения оковывания имеет тщательная подготовка выводной валковой арматуры (нижних проводок). Носок проводок тщательно подгонялся по всему контуру нижнего ручья этих калибров.

При опытной прокатке тавровые профили 59 × 92 мм и 59 × 102 мм были получены в полном соответствии с техническими условиями.

На трехклетевом стане 400 Златоустовского металлургического завода была освоена [32] калибровка экономичного профиля ПС-107А.

Профиль ПС-107А представляет собой утолщенный таврик с невысокой стенкой и формируется из квадрат-

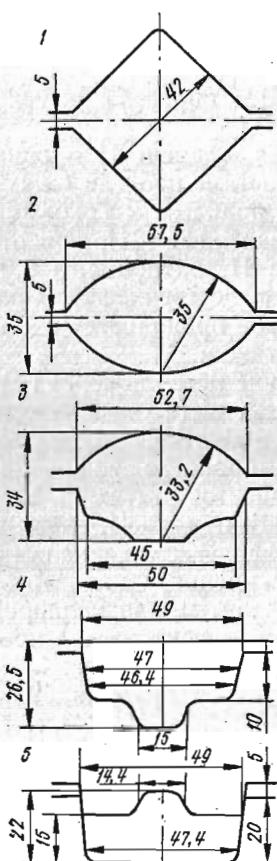


Рис. 47. Калибровка профиля ПС-107А.

ного сечения 40,5 × 40,5 мм в одном овальном и трех фасонных калибрах (рис. 47). Исходная заготовка сечением 85 × 85 мм и массой 90–100 кг нагревается в методической печи до 1170–1200 °C. Общее количество проходов равно десяти.

При проектировании калибровки были использованы имеющиеся вытяжные калибры, применяемые для прокатки существующего сортамента стана. Таким образом, при переходе на прокатку профиля ПС-107А необходима только перевалка валков клети III, в которой расположены калибры 4 и 5. Калибр 3 расположен на комбинированных валках клетки II. В результате парк валков был сокращен до минимума и устраниены потери времени, связанные с перевалкой валков клетей I и II.

Прокатка опытной, а затем и промышленных партий профиля ПС-107А, показала, что для обеспечения требуемой формы готового профиля большое значение имеет правильное заполнение овального калибра 2. Если в калибре 2 вследствие неточной настройки или разности диагоналей исходной квадратной полосы происходит сваливание полосы, то при прокатке такого овала в калибре 3 на боковых частях полосы образуется наплыв в виде уступа, который может привести к закату в последующих калибрах.

Принятая овальная форма верхнего ручья калибра 3 устраивает возможность образования заусенцев в этом калибре и способствует хорошему выполнению стенки профиля. Полузакрытая форма калибра 4, образованного ручьем только одного валка, обеспечивает центрирование стенки профиля относительно полок и облегчает настройку стана.

Большое значение при прокатке профиля ПС-107А имеет температурный режим. С понижением температуры для специальных марок стали резко возрастает сопротивление деформации и соответственно давление металла на валки. Поэтому температура конца прокатки не должна быть менее 950 °C.

Применение профиля ПС-107А взамен полосовой стали позволяет экономить на машиностроительных заводах от 25 до 35 % металла и значительно снижает трудоемкость механической обработки при изготовлении деталей [32].

Весьма интересна калибровка таврового профиля, представленная на рис. 48. Вследствие наличия полок по обеим сторонам профиля ребровые калибры неприменимы. Однако можно применить косое расположение

калибров, что допускает некоторое прямое давление и обработку краев профиля. Обращаем внимание на поочередную обработку полок, как при косой прокатке двутавровых балок. Заметно также перемещение линии прокатки по отношению к центру тяжести профиля.

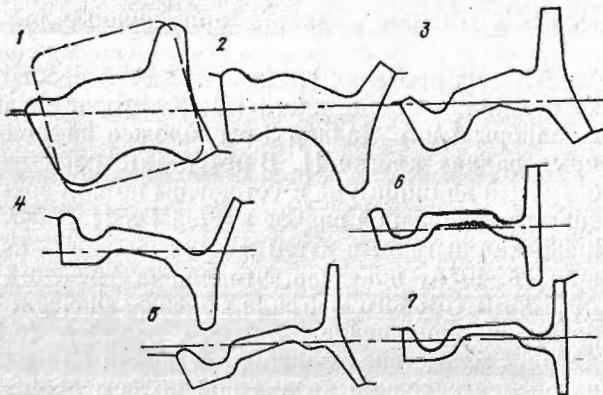


Рис. 48. Калибровка асимметричного таврового профиля.

Сложный тавровый профиль изображен на рис. 49. Изучая калибровку, можно отметить следующие ее особенности. Первые четыре калибра являются обычными обжимными калибрами для тавра, с пятого же начинается специфическая калибровка. Стенка калибра 5 за-

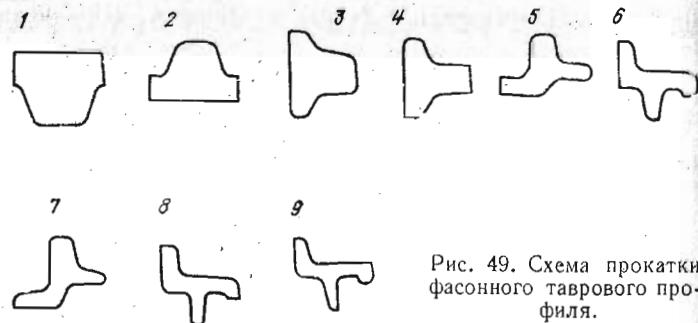


Рис. 49. Схема прокатки фасонного таврового профиля.

ключена между стенками калибра, принадлежащими одному валку (закрытый калибр), и поэтому подвергна только прямому давлению. В то же время подошва подвергается не только сильному давлению, особенно в правой части, но и изгибу. Неравномерное распределение обжатий, а также слишком большое сечение стенки, которая не может быть вытянута стремящейся

удлиниться подошвой, вызывает значительное уширение. Калибр 5 спроектирован так, что металл подошвы не может уширяться вправо. Поэтому комбинированные изгиб и уширение, направленные влево, образуют полку, что дает профиль, близко подходящий к требуемому. Кроме образования выемки в нижней части профиля в шестом проходе, обжатия в дальнейшем распределяются по сечению сравнительно равномерно. Тот факт,

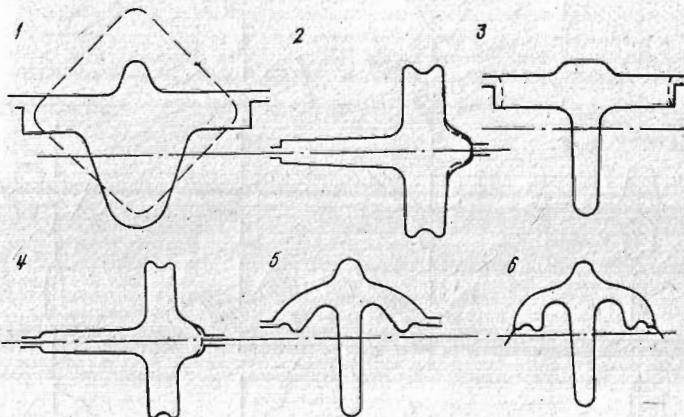


Рис. 50. Схема калибровки рамы для фонарей.

что полоса кантуется перед третьим, шестым, седьмым и восьмым калибрами, показывает, что калибровщик стремился использовать кантовку возможно лучше для хорошей обработки кромок и использовал достоинства прямого давления.

На рис. 50 приведена калибровка профиля для рам световых фонарей. Прокатка этого профиля начинается с квадрата, задаваемого в первый калибр по диагонали. Калибровка отличается от калибровки нормального таврового профиля тем, что в кромках подошвы образуются желобки, полки подошвы получают неравномерное обжатие и в чистовом калибре полки изгибаются. Подошва этого профиля у стенки сильно обжимается, что препятствует застреванию последней в калибре. Схемы прокатки тавровых профилей [4] для оконных переплетов приведены на рис. 51.

На трехклетевом стане 300 было проведено освоение тонкостенного таврового профиля $51,4 \times 29,8 \times 3,4$ мм (рис. 52, а) из заготовки круглого сечения диаметром 32—36 мм.

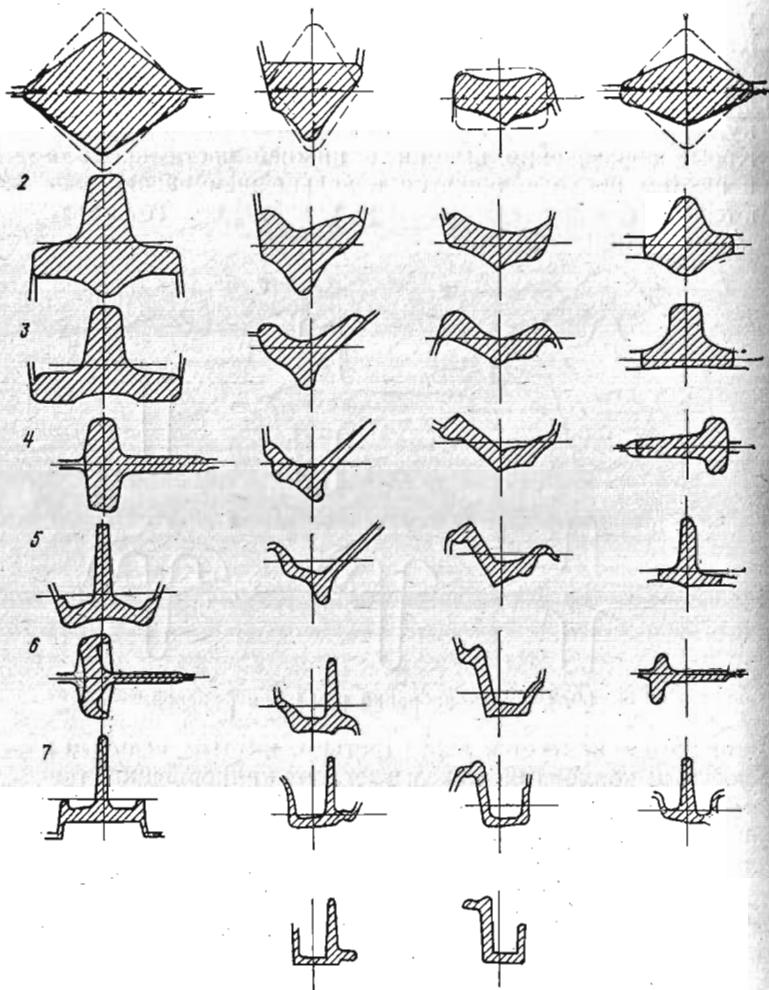


Рис. 51. Схемы прокатки профилей для оконных переплетов.

При прокатке из круга диаметром 34—36 мм ширина полок (подошвы) в калибре 3 превышала расчетную на 5—10 мм и составляла 61—66 мм. Поэтому в калибре 4 происходила потеря устойчивости полосы, и, как правило, сваливание профиля.

При прокатке из круга 32 мм полосы имели следующие размеры: в калибре 1 ширина полок 43 мм, а общая высота 23,6 мм; в калибре 2 — ширина полок 41 мм, а высота стенки 39 мм; в калибре 3 — ширина полок

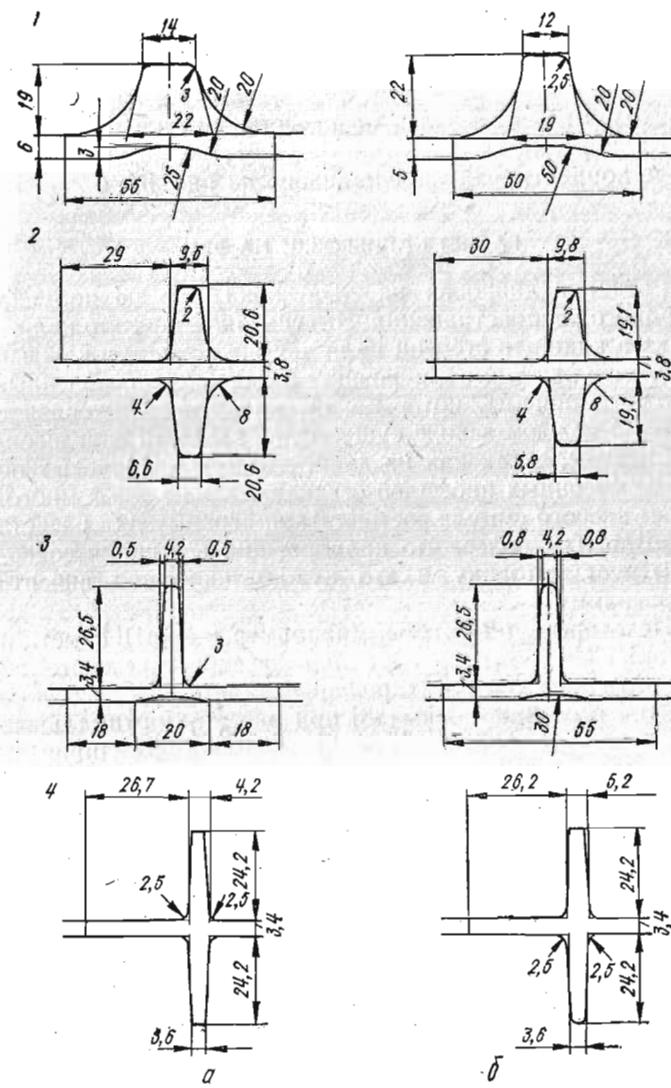


Рис. 52. Калибровка таврового профиля $51,4 \times 29,8 \times 3,4$ мм на линейном трехклетевом стане 300 отраслевой лаборатории прокатки ДИИ (исходное сечение — круг 32 мм):
а — вариант 1; б — вариант 2.

58,5 мм, а высота стенки 30 мм; в калибре 4 — ширина полок 51,5 мм, а высота стенки 30,4 мм. Профиль был получен в соответствии с техническими условиями.

Вследствие повышенной неравномерности деформации и уклона стенки в калибре 3 происходило образование лампаса. Однако этот лампас вследствие плавных переходов не сказывался на качестве готового профиля.

Калибровка таврового профиля $51,4 \times 29,8 \times 3,4$ мм после корректировки представлена на рис. 52, б

РАСЧЕТ КАЛИБРОВКИ НА ЭВМ

Расчет калибровок на ЭВМ пока еще не получил широкого распространения. Это связано с тем, что калибровка в какой-то степени является искусством и каждый или почти каждый калибровщик имеет свои излюбленные методы и приемы, которыми он пользуется. В связи с этим на каждом заводе существуют какие-то определенные методы, а так как на данном заводе одинаковых по форме фасонных профилей осваивается не так уж много, то нет особого смысла составлять программу для расчета на ЭВМ. Тем более, что калибровщик все время совершенствует методику и это нужно постоянно вносить в программу.

Некоторые институты (например, УкрНИИмет и ДонНИИчермет) уделяют большое внимание системам автоматического проектирования калибровок. Расчеты на ЭВМ особенно важны [33] при расчетах оптимальных калибровок. Но при этом очень трудно сформулировать подлежащую оптимизации целевую функцию. Создание систем автоматизированного проектирования технологических процессов прокатки на базе современных ЭВМ является [34] трудоемким и сложным процессом. Основные трудности состоят в создании математической модели прокатки в фасонных калибрах, формализации целей и критериев проектирования, а также многих практических приемов калибровщиков. Вследствие сложности решения такой задачи по оптимизации технологии целесообразно применять диалоговые системы оптимизации на основе различных эвристических приемов для решения не полностью formalizованных задач.

При работе на ЭВМ в диалоговом режиме можно быстро получать сведения о результатах расчета, оценивать их и при необходимости оперативно вносить корректизы в исходную информацию, а также управлять ходом расчета, исходя из своих знаний, практического опыта

и интуиции. Диалоговый режим позволяет наиболее эффективно распределить функции между человеком и машиной на основе взаимного дополнения и использования преимуществ каждого из партнеров.

В УкрНИИмете разработана автоматизированная система проектирования технологии прокатки фасонных профилей, состоящая из ЭВМ, графического дисплея с функциональной клавиатурой и графопостроителя, алфавитно-цифрового печатающего устройства, а также библиотеки стандартных программ и математического обеспечения диалога человек — машина. С помощью этой системы, можно спроектировать оптимальную калибровку профиля, рассчитать комплекс технологических параметров прокатки и автоматизировать подготовку технологической документации [34].

Для расчета калибровки с выводом графического изображения калибров на экран дисплея используют два различных способа кодирования и преобразования геометрической информации: кодирование линейных размеров элементов профиля (калибра) и радиусов сопряжения и кодирование координат базовых точек калибра, т. е. вершин многоугольника, описывающего контуроперечного сечения профиля (калибра), и скругляющих их радиусов.

Так как полностью formalизовать расчет калибровки фасонных профилей не удается, рекомендуется процесс проектирования калибровки разделить на два этапа — автоматического и ручного режимов расчета.

На первом этапе выполняется та часть расчета, которая formalизована и полностью описана в алгоритме. На втором этапе калибровка «доводится» вручную путем оценки и корректировки результатов расчета в той части алгоритма, которая либо вообще не formalизована, либо formalизована недостаточно. Расчет калибров ведется последовательно от чистового до разрезного (формирующего). В автоматическом режиме определяются также и размеры исходной заготовки. После расчета очередного калибра на экране дисплея высвечиваются его геометрическое изображение и соответствующие расчетные параметры. Оператор предварительно оценивает правильность выбранной схемы прокатки и режима деформации. При положительной оценке расчет продолжается, при отрицательной оператор с пульта ЭВМ или дисплея изменяет исходную информацию и расчет начинается сначала. В автоматическом режиме предусмотрена возможность всестороннего изменения калибровки.

Если результаты расчета калибровки в автоматическом режиме в общем удовлетворительны, то при необходимости делается ее доводка в ручном режиме. Здесь изменения касаются только одного рабочего калибра. В оперативной памяти ЭВМ одновременно хранится информация о трех калибрах — эталонном, рабочем и корректируемом. Этalonный калибр в процессе работы не изменяется и предназначен только для сравнительных оценок. В рабочем калибре происходят изменения геометрических характеристик, коэффициентов деформации и вытяжек, которые связаны с эталонным калибром. В корректируемом калибре происходит изменение только коэффициентов деформаций и вытяжек.

При изменении какого-либо размера в рабочем калибре ЭВМ автоматически пересчитывает другие, взаимосвязанные с ним размеры, коэффициенты деформации и вытяжки. Все изменения контролируются визуально. На экране дисплея можно одновременно выводить два смежных калибра и совмещать их на «просвет» для оценки правильности входа раската в калибр, центрирование раската валками, уширение и т. д. Расчет температурно-скоростных, энергосиловых и других технологических параметров прокатки ведется по специальной программе после определения размеров всех калибров. Программа является универсальной и используется для расчета параметров прокатки различных станов с различным составом и расположением оборудования.

Универсальность программы достигается использованием матричного способа описания исходной информации.

Разработанная система автоматизированного проектирования технологического процесса прокатки реализована на ЭВМ ЕС-1033, М-222 и Минск-22 с графическим дисплеем «Интоограф-2» и графопостроителем «ДИГИГРАФ». По этой системе были рассчитаны калибровки на стане 250 Нижнесергинского и стане 600 Коммунарского металлургического заводов.

ГЛАВА 5

РАСПОЛОЖЕНИЕ КАЛИБРОВ НА ВАЛКАХ. ВАЛКОВАЯ АРМАТУРА И НАСТРОЙКА СТАНА

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ НЕЙТРАЛЬНОЙ ЛИНИИ

Под нейтральной линией калибра обычно понимают [14] такую линию, относительно которой моменты сил, приложенных со стороны верхнего и нижнего валков,

равны. Совмещение нейтральной линии калибра со средней линией валков, делящей пополам расстояние между осями валков, обеспечивает прямолинейное движение полосы при выходе из калибра.

Неправильное или неточное определение нейтральной линии калибра, особенно для профилей сложной конфигурации, может отрицательно повлиять на работу стана и отразиться на качестве проката. Особенно часто это наблюдается при прокатке сложных профилей (двустворовых балок, швеллеров, тавровой стали и т. д.). Если два вала, в которых расположен калибр, имеют одинаковое число оборотов, но различные диаметры, то их окружная скорость будет различной. Так, например, если диаметр нижнего вала больше, чем верхнего, то прокатываемый металл на контактной поверхности нижнего вала стремится получить большую скорость. При этом нижний валок увлекает за собой верхний, насколько позволяет имеющиеся зазоры в муфтах и шпинделях, причем в ряде случаев возможна разница на полоборота и больше. Как только полоса выходит из валков, вращение верхнего вала прекращается (валок останавливается), и после того как шпиндель повернется на угол, соответствующий образовавшемуся зазору в муфтах, верхний валок вновь включается во вращение. В такие моменты возникают сильные удары, которые могут привести к поломке муфт, шпинделей и шеек валков (подобные явления могут происходить и при холостом ходе, когда соприкасаются бурты валков, имеющие разные диаметры). Во время прокатки верхний валок тормозит полосу. Это торможение не только увеличивает расход энергии, но и может привести к образованию трещин по краям прокатываемой полосы, особенно для малопластического металла, вследствие повышенных напряжений в металле.

В литературе рассматривается много методов расчета нейтральной линии и рабочих диаметров калибра. Однако нет уверенности, какую формулу и при каких условиях можно применять.

При прокатке тавровой стали наибольшие трудности возникают при определении нейтральной линии для ребровых калибров. Для пластовых калибров, симметричных относительно горизонтальной оси, нейтральная линия совпадает с их осью симметрии.

На практике часто используется способ определения положения нейтральной линии, по которому нейтральная линия проводится через центр тяжести площади

калибра. Идея этого способа заключается в том, что воздействие валков на отдельные элементы прокатываемого профиля принимается пропорциональным их статическим моментам. В этом случае точкой приложения равнодействующей всех сил, действующих на профиль, является его центр тяжести. В этом случае последовательность определения положения нейтральной линии для несимметричных относительно горизонтальной оси калибров следующая [14]. Калибр делят на ряд простых геометрических фигур. Проводят горизонтальную линию $x - x$, условно предполагая, что она является нейтральной линией калибра (целесообразнее всего совмещать ее с одной из линий, входящих в очертание калибра). Далее определяют центры тяжести и площади каждой из геометрических фигур, на которые разделен калибр. Составляют уравнения статических моментов для каждой геометрической фигуры относительно условной линии. Составляют при соблюдении правила знаков общее уравнение для определения положения нейтральной линии калибра. Если в результате решения этого уравнения после подстановки в него цифровых значений получился результат, отличный от нуля, то относительное положение нейтральной линии определяется знаком самого результата. Абсолютное значение результата показывает, на какое расстояние надо перенести нейтральную линию от условно принятой оси $x - x$ вниз или вверх.

На практике положение центра тяжести калибра обычно определяется не расчетом, а опытным путем. Для этого шаблон калибра, изготовленный для нарезки валков, уравновешивается на металлической линейке. Иногда шаблон калибра вырезают из картона или жести.

Определение положения нейтральной линии по центру тяжести калибра может привести к существенным ошибкам, особенно в тех случаях, когда обжатие производится не по всему периметру калибра. Поэтому наибольшее распространение получил способ, по которому нейтральная линия калибра проводится на половине расстояния между центрами тяжести контура калибра в каждом валке. При этом части контура, подвергающиеся обжатию лишь в результате уширения, при определении центра тяжести во внимание не принимаются.

Теоретическим обоснованием этого является предположение, что воздействие валка на профиль пропорционально моменту части контура калибра, принадлежащей этому валку. В этом случае, если исходить из примерно

равных давлений металла на валки во всех частях профиля, точка приложения равнодействующих сил, приложенных со стороны валка, находится в центре тяжести контура, соприкасающейся с этим валком. Нейтральная линия должна проходить посередине между центрами тяжести контуров верхнего и нижнего валков. При подсчете по этому методу находят положение каждой части центра тяжести контура относительно какой-либо линии калибра, после чего определяют положение нейтральной линии калибра.

Так как в большинстве случаев в ребровых и пластовых калибрах отсутствует боковое обжатие стенки и полок в закрытых ручьях калибров, метод определения положения нейтральной линии тавровых калибров по центрам тяжести контуров дает лучшие результаты.

РАСПОЛОЖЕНИЕ КАЛИБРОВ НА ВАЛКАХ

Для тавровых профилей расположение калибров на валках производится таким образом, чтобы нейтральная линия калибра совпадала со средней линией валков или была смещена относительно средней линии валков на величину принятого верхнего или нижнего давления.

Нейтральную линию тавровых калибров, по нашему мнению, следует определять по центрам тяжести контуров калибра с учетом условий деформации в закрытых ручьях. На основании опытной прокатки целесообразно, если в этом есть необходимость, производить корректировку положения нейтральной линии. Для разновидностей тавровой стали сложной формы можно использовать и другие методы определения нейтральной линии.

Для пластовых калибров, если профиль имеет некоторую асимметрию относительно оси стенки, нет необходимости точно определять положение нейтральной линии, так как прямолинейный выход полосы из валков мало изменяется даже при защемлении полок, имеющих небольшую площадь по сравнению со стенкой. В ребровых калибрах обычно предусматривают давление со стороны закрытого ручья. Подобного правила следует придерживаться и при монтаже пластовых калибров, принимая по условиям технологии определенное верхнее давление.

Для тавровых открытых калибров по условиям их работы нет необходимости предусматривать на валках бурты, которые увеличивают первоначальный диаметр, а соответственно и расход валков. Более того, на мелко-

сортных станах при отбеленных чугунных валках при наличии буртов снимается при нарезке отбеленный слой валков. Однако в тех случаях, когда взаимная установка нижнего и верхнего валков должна быть по возможности более точной, на краях валков предусматривают крайние бурты (рис. 53), облегчающие настройку и обеспечивающие точную установку валков относительно друг друга. На современных прокатных станах, работающих на подшипниках качения или скольжения с точной осевой установкой валков, вряд ли есть необходимость в буртах.

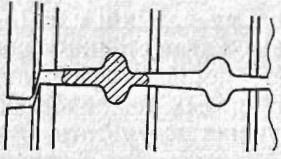


Рис. 53. Расположение калибров на валках одной из клетей стана 250 для прокатки тавровой стали.

Смещение валков относительно друг друга в осевом направлении особенно нежелательно в предчистовых калибрах. Если при прокатке тавровой стали в предчистовом пластовом калибре произойдет осевое смещение валков, то полоса со смещенными по оси стенками полками при прокатке в чистовом калибре претерпевает неизменную деформацию. При этом ширина полки, в предчистовом калибре смещенная в сторону конца стенки профиля, уменьшится. У другой полки, наоборот, наблюдается увеличение ширины по сравнению с ее шириной в предчистовом калибре. Если валки смещены относительно друг друга 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 предчистовом пластовом калибре не произойдет ее высотного обжатия (осадки) в закрытом ручье и на готовом профиле ширина этой полки выйдет из минусового допуска.

В ребровых калибрах осевое смещение валков оказывается, хотя и в меньшей степени, в тех случаях, когда открытый валок, соответствующий наружной грани подошвы, имеет вогнутую или выпуклую поверхность. Смещение валков в колокольном калибре при задаче полосы в последующей ребровой калибре обуславливает в нем различную ширину полок за счет выпуклости наружной грани подошвы колокольного калибра. Происходит прирост ширины той полки, в сторону которой смещена выпуклость.

В ребровых калибрах с вогнутостью наружной грани подошвы осевое смещение валков приводит к непра-

вильному заполнению последующего пластового калибра, в котором уширение не компенсируется и наблюдается переполнение со стороны наружных граней полок. Отсюда и повышенное вынужденное уширение полок в следующем ребровом калибре.

Таким образом, точная осевая установка валков при прокатке тавровой стали в открытых калибрах со свободным уширением имеет исключительно важное значение. Поэтому в тех случаях, когда конструкция рабочих клетей не может обеспечить точной и не меняющейся в процессе прокатки осевой установки валков, приходится предусматривать боковые замки как для ребровых, так и для пластовых калибров.

На валках чистовой клети с калибрами ребрового типа необходимость в применении боковых замков отпадает, так как осевое смещение валков не оказывается на качестве готовых профилей.

Между калибрами не обязательно наличие буртов. Для точной установки валковой арматуры можно рекомендовать фиксировать границы калибра при помощи нанесения несмыываемой краской по периметру валка кольцевых отметок.

Ширину калибров несколько увеличивают по сравнению с расчетными значениями, что обеспечивает отсутствие каких-либо дефектов в случае отклонений фактических размеров от расчетных.

ВАЛКОВАЯ АРМАТУРА И ПРОКАТНЫЕ ВАЛКИ

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

Общий вид типовой вводной и выводной арматуры рабочей клети, на валках которой нарезаны тавровые калибры ребрового типа, показан на рис. 54.

На опорном брусе 1 с передней стороны клети устанавливается и закрепляется при помощи болтов 3 вводная коробка 2 закрытого типа. В коробку вставляются левый и правый пропуски 4. Конфигурация рабочей поверхности пропусков подобна форме сечения задаваемого раската 6 из калибра предыдущей клети, при

этом размеры ручьев на пропусках больше соответствующих размеров задаваемого раската на 1,5–3,0 мм, что объясняется необходимостью легкой задачи переднего конца полосы в калибр. С увеличением зазора между раскатом и рабочими поверхностями пропусков облегчается задача полосы в калибр, однако при этом ухудшаются условия центрирования полосы перед калибром.

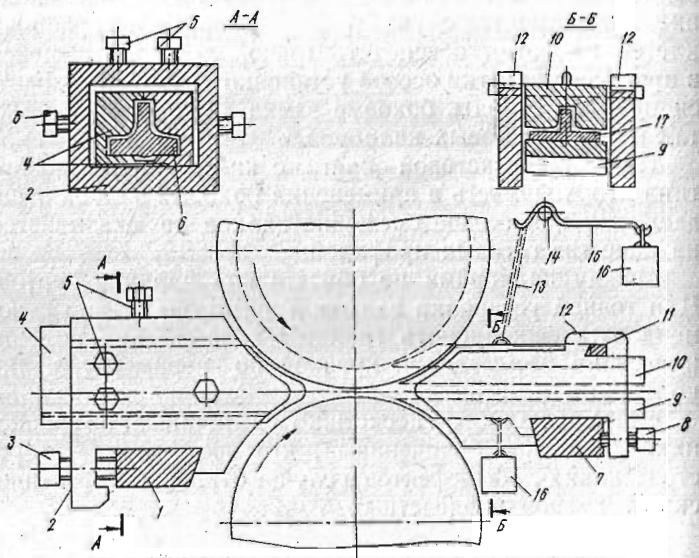


Рис. 54. Общий вид валковой арматуры рабочей клети для прокатки тавровой стали.

Поэтому на практике стремятся к уменьшению зазора между полосой и пропуском в чистовых клетях.

С целью удобства задачи раската в калибр пропуски со стороны входа полосы в калибр имеют входные склонные поверхности. Место разъема пропусков в вводной коробке при прокатке профилей в тавровых калибрах обычно располагается в вертикальной плоскости, что объясняется удобством настройки необходимых зазоров между правым и левым вводными пропусками по мере их выработки. Для точной установки пропусков относительно оси калибра и закрепления в необходимом положении в вводной коробке предусмотрены регулировочные 5 (боковые) и крепежные (верхние) болты (рис. 54).

Для клетей с пластовыми тавровыми калибрами в вводной коробке устанавливаются один пропуск 4 с фа-

сонной рабочей поверхностью, а другой — гладкий 18 (рис. 55). Обозначения на рис. 55 те же, что и на рис. 54.

Выводная арматура каждой клети при прокатке в тавровых калибрах (рис. 54) включает две выводные массивные линейки 12, закрепленные крепежными болтами 8 на опорном брусе 7 с задней стороны клети, между которыми располагаются проводки 9 и 10. Нижняя проводка 9 опирается передним концом на дно калибра, а задним — на брус. Для надежного прижатия переднего конца проводки к валку к нижней проводке подвешива-

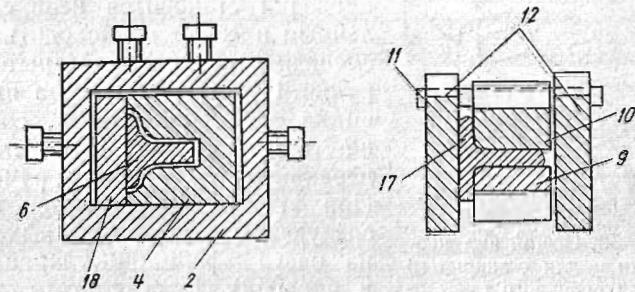


Рис. 55. Поперечный разрез вводной и выводной арматуры для клети с пластовым тавровым калибром.

ется груз 16 массой 3–5 кг. Для установки верхней проводки в выводных линейках предусмотрены прямоугольные отверстия, в которые вставляется опорный бруск 11 (планка), и о который верхняя проводка опирается пяткой. Прижатие переднего конца проводки к валку обеспечивается контргрузом 16 посредством двухплечевого рычага 15 с опорной осью 14 и тяги 13 (рис. 54).

При прокатке тавровой стали проводки работают в более тяжелых условиях, чем пропуски, так как должны обеспечить снятие переднего конца раската 17 с валков и прямолинейный выход его из клети при отсутствии царапин и рисок на поверхности прокатываемых полос. Особенно в трудных условиях работают проводки со стороны закрытого ручья в ребровых тавровых калибрах. При защемлении стенки профиля в закрытом ручье ребрового калибра имеет место значительное давление полосы на проводку. Защемление полосы происходит при несоблюдении режима обжатий, при пониженной температуре прокатываемых полос, т. е. при нарушении технологии. Если при этом проводка имеет тонкую среднюю часть, предназначенную для снятия стенки

профиля из закрытого ручья, то возможен изгиб проводки или даже ее поломка.

Проводка закрытого ручья ребровых калибров показана на рис. 56. Отличительной особенностью данной проводки является наличие тонкой средней части (пера проводки). Проводка изготавливается с особой тщательностью и подгоняется по валкам или по специальным шаблонам. Большие зазоры между пером проводки и боковыми гранями закрытого ручья очень вредны при прокатке.

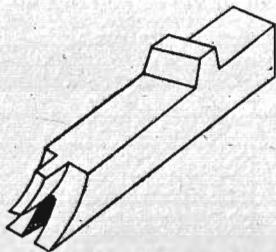


Рис. 56. Общий вид проводки для закрытого ручья ребрового таврового калибра.

В этом случае положение проводки становится неопределенным и может происходить ее смещение по ширине закрытого ручья. При смещении пера проводки ее боковые части, соответствующие полкам профиля, перекрывают закрытый ручей. При этом передний конец последующей полосы при выходе из очага деформации ударяется в проводку. В результате прокатываемая полоса застrevает на выходе из клети, что приводит к поломке выводной арматуры или окову валков полосой.

Слишком плотное расположение средней части (пера) проводки в закрытом ручье ребрового калибра может привести к образованию царапин и задиров на поверхности ручья.

При прокатке тавровой стали в открытых калибрах для точного центрирования проводок относительно калибров, особенно ребровых, можно предусмотреть на валках небольшие выступы, расстояние между которыми равно ширине проводок.

У проводок для закрытых ручьев ребровых калибров быстрее изнашивается перо. Поэтому на некоторых заводах такие проводки изготавливают состоящими из трех частей — пера и двух боковых частей. Отдельные части скрепляются между собой заклепками, что облегчает и упрощает в целом изготовление проводок.

При прокатке тавровой стали на непрерывных станах известно применение проводок для закрытых ручьев ребровых калибров, у которых отсутствует перо проводки (рис. 57). Изготовление таких проводок значительно проще по сравнению с выше рассмотренными, но при использовании их должны быть разработаны мероприятия,

предотвращающие смещение проводок относительно оси калибра.

Условия работы проводок в пластовых калибрах значительно легче по сравнению с ребровыми калибрами, так как сильно обжимаемая стенка профиля имеет большую ширину. Соответственно увеличивается и ширина проводок. Кроме того, пластовые калибры обычно симметричны относительно горизонтальной оси. Выходящая из валков полоса не защемляется каким-то одним валком. Эти проводки обычно изготавливаются с таким расчетом, чтобы при выходе из валков полки профиля своими концами не касались поверхности проводок (рис. 55).

В настоящее время находит широкое применение роликовая арматура, особенно для прокатки тавровых профилей из легированных сталей. Вводные роликовые коробки, используемые при прокатке круглой стали, пригодны также при производстве тавровой стали. Из-за обусловленного роликами большого расстояния от очага деформации желательно использовать роликовые коробки с двумя парами роликов, чтобы придать задаваемому раскату достаточную устойчивость и тем самым исключить косую задачу и образование лампасов в результате неточной задачи. На рис. 58 показана роликовая коробка с двумя парами роликов для прокатки тавровой стали. Основными деталями конструкции роликовой арматуры являются корпус коробки 1, роликодержатели 2 с роликами 3 и фасонные вводные пропуски 6. Крышка 4 коробки крепится к корпусу болтами 5. Оси 7 роликов с роликодержателями перемещаются установочными болтами 8.

Применяют роликовые коробки с роликами на подшипниках качения и скольжения, последние имеют меньшие габариты, но и меньшую стойкость подшипникового узла.

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 тавровой стали малых размеров и из магниевого чугуна с перлитно-цементо-графитовой структурой для тавриков средних и крупных размеров. Недостатком чугунных валков с отбеленной поверхностью для



Рис. 57. Общий вид проводки без пера.

тавровых профилей является существенное снижение твердости при значительных врезах закрытых ручьев. Поэтому наблюдается повышенный износ в глубине закрытых ручьев. Увеличение отбеленного слоя вряд ли целесообразно, так как при этом снижается прочность валков. Применение профилированных валков затруднено вследствие малой ширины закрытых ручьев.

Стальные валки за исключением обжимных клетей применяют редко вследствие их меньшей износостойкости.

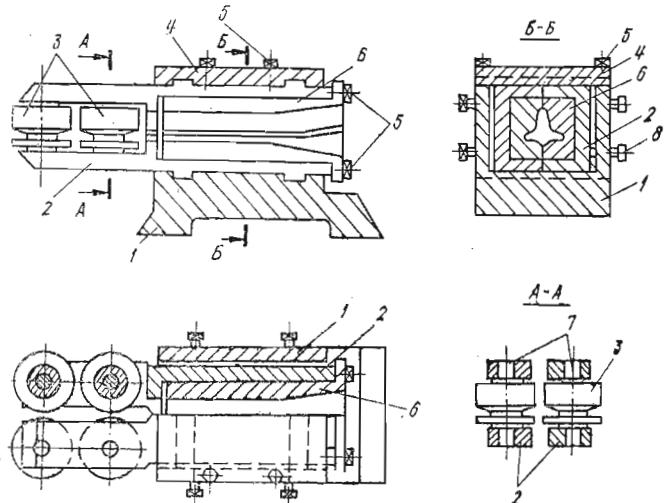


Рис. 58. Роликовая вводная коробка для прокатки тавровой стали.

кости и дороговизны. При прокатке на стальных валках при высокой температуре наблюдается налипание и наваривание на поверхности калибров частичек металла. Вмятины и навары на валках дают отпечатки на прокатываемых полосах. Иногда встречается комбинированное использование валков, когда в черновых клетях для улучшения захвата в ребровых калибрах применяют один стальной валок, а другой чугунный. При этом чугунный валок используется для калибров с закрытыми ручьями.

НАСТРОЙКА СТАНА

При освоении тавровой стали в процессе настройки стана необходимо вначале за счет изменения размеров исходного сечения получить уменьшение высоты стен-

ки в чистовом калибре не более 2—4 мм, не обращая внимания на незаполнение черновых калибров. Затем в случае необходимости по условиям прокатки длина стенки из предчистового калибра может быть увеличена.

Для контроля, особенно при освоении новых тавровых профилей, и тем более несимметричных, отбирают пробы полос от всех калибров, определяют размеры и сравнивают их с контрольными шаблонами. Таким способом можно непосредственно на прокатном стане выявить отклонения от расчетного режима обжатий по проходам, произвести корректировку обжатий и избежать тем самым 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 иногда за пределы допускаемых отклонений при асимметричности подошвы относительно оси стенки. При этом потребуется периодическая настройка стана, сдерживающая ритм работы и снижающая производительность.

Если при прокатке по схеме II (рис. 27, а) в качестве формирующего используется симметричный пластовый калибр, то тонкая правая часть раската, попадающая в выпуклость третьего по ходу прокатки калибра, может получить изгиб, 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 для симметричных пластовых калибров, а также при неправильном заполнении первого пластового калибра, а следовательно, и второго по типовой схеме II. Поэтому для контроля при настройке стана следует пользоваться накидными шаблонами, позволяющими определить длину правой и левой частей прокатываемых полос в пластовых калибрах и при необходимости привести их в соответствие со схемой прокатки.

При использовании в качестве исходного сечения квадратного и других простых сечений для прокатки малых размеров тавровой стали на мелкосортных станах следует установить обводные аппараты для задачи исходного сечения в первый фасонный калибр. Если

фасонный калибр ребрового типа и кантовка не требуется, то направление, например, квадрата не вызывает затруднений, так как при диагональном расположении квадратного калибра в валках задача в фасонный калибр ребрового типа производится также по диагонали. В случае пластового расположения первого фасонного калибра квадрат задается плашмя, поэтому необходима кантовка при прохождении по обводному аппарату. Скручивание квадратной полосы на 90° при прохождении ее по обводному аппарату достигается смещением валков, из которых выпускается квадрат. Причиной скручивания является возникающая от смещения валков пара сил. 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 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.

При получении размеров готового профиля в соответствии с допускаемыми отклонениями основной контроль в процессе настройки и прокатки приходится осуществлять за теми элементами профиля, которые формируются в открытых ручьях. Если чистовой калибр ребрового типа, то размеры стенки по высоте при заполнении закрытого ручья могут изменяться в небольших пределах. Высота стенки изменяется по мере износа валков и при настройке стана за счет толщины полок. Так как допуски на толщину полок 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 приходится постоянно контролировать, является ширина

полок, зависящая от величины уширения в чистовом калибре и технологических факторов. Ширина подошвы или каждой полки может регулироваться степенью заполнения полок по толщине в пластовом предчистовом калибре. Кроме того, иногда целесообразно изменять ширину полок в предчистовом калибре за счет изменения расстояния между валками. В чистовых калибрах пластового типа основным контролируемым размером является длина стенки.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Калибровки тавровых профилей, представляющие значительный интерес для калибровщиков и технологов прокатных цехов, приведены на рис. 59—72.

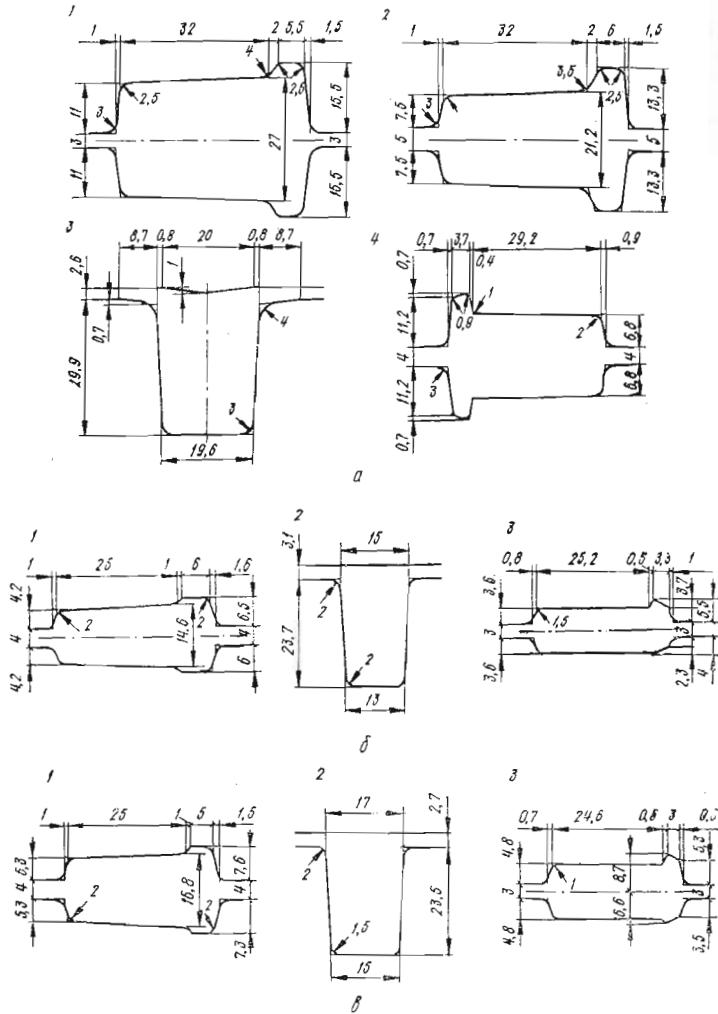
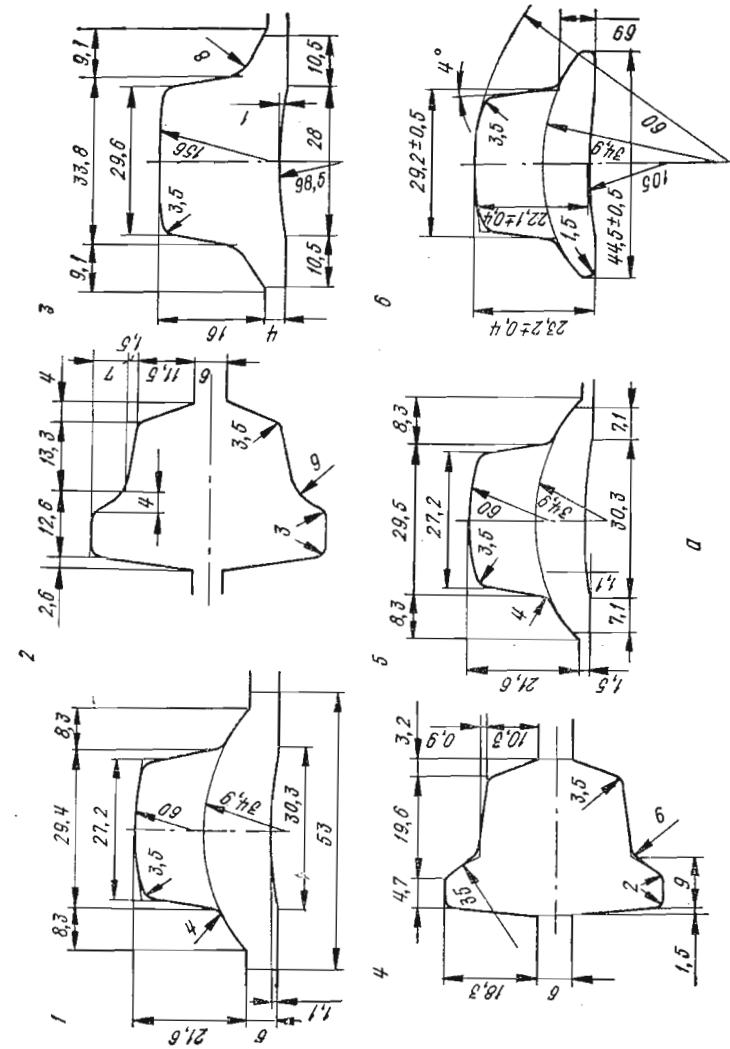


Рис. 59. Калибровка профиля № 37', исходное сечение 40 × 32 мм (а); профиля № 452, исходное сечение 28 × 13 мм (б); профиля № 453, исходное сечение 28 × 23 мм (в) для детали «дополнительный полюс» на линейном двухклетевом стане 180 Омутнинского металлургического завода.



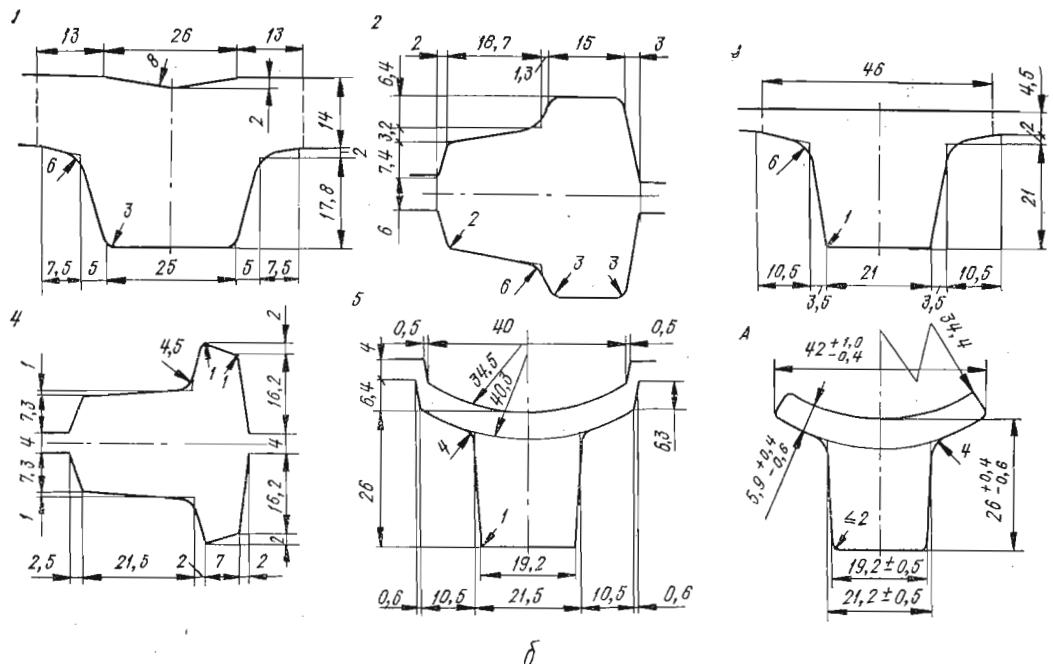


Рис. 60. Калибровка профиля № 892, исходное сечение — круг 46 мм (а); профиля № 36, исходное сечение — круг 45 мм (б); для детали «полюс» на шестиклетевом стане 300 ПО «Ижсталь» (А — готовый профиль).

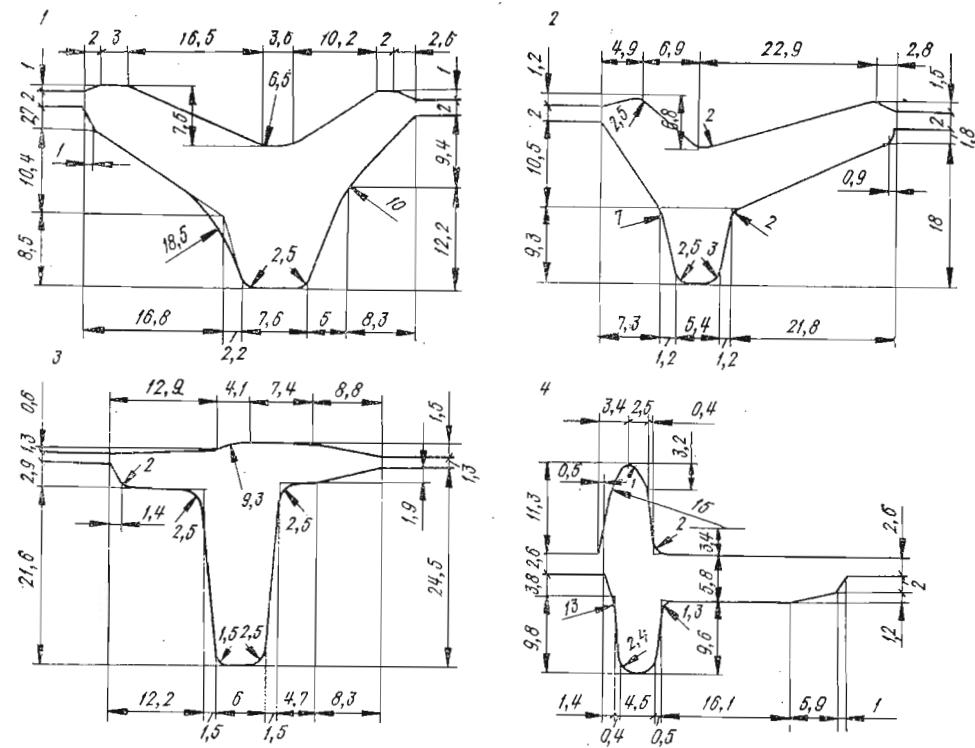


Рис. 61. Калибровка таврового профиля $28.8 + 0.6 \times 26.6 + 0.8 \times 6.4 + 0.4$ мм на линейном двухклетевом стане 180 омутнинского металлургического завода (исходное сечение — круг 30 мм).

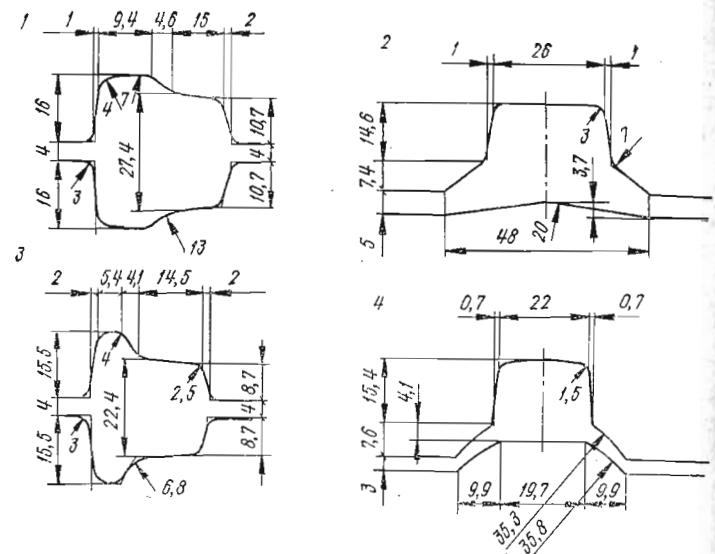


Рис. 62. Калибровка профиля № 411 для детали «полюс» на линейном двухклетевом стане 180 Омутнинского металлургического завода (исходное сечение 38 × 25 мм).

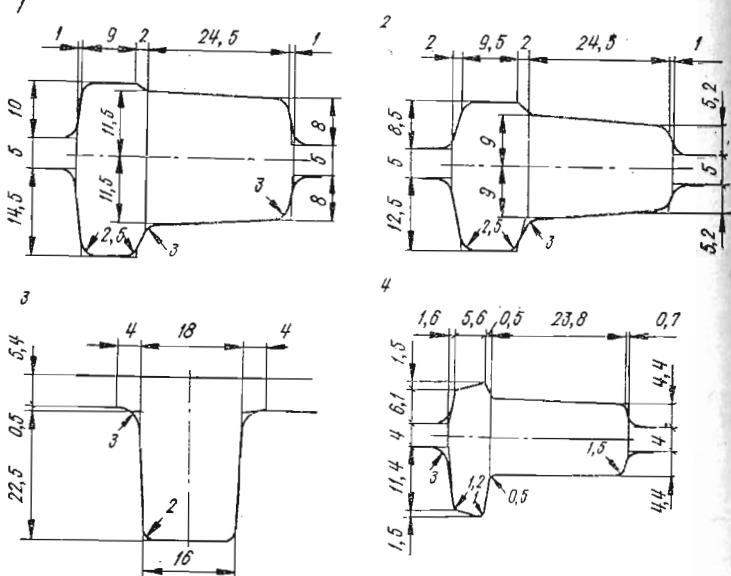


Рис. 63. Калибровка профиля № 297 для детали «дополнительный полюс» на линейном двухклетевом стане 180 Омутнинского металлургического завода (исходное сечение 30 × 30 мм).

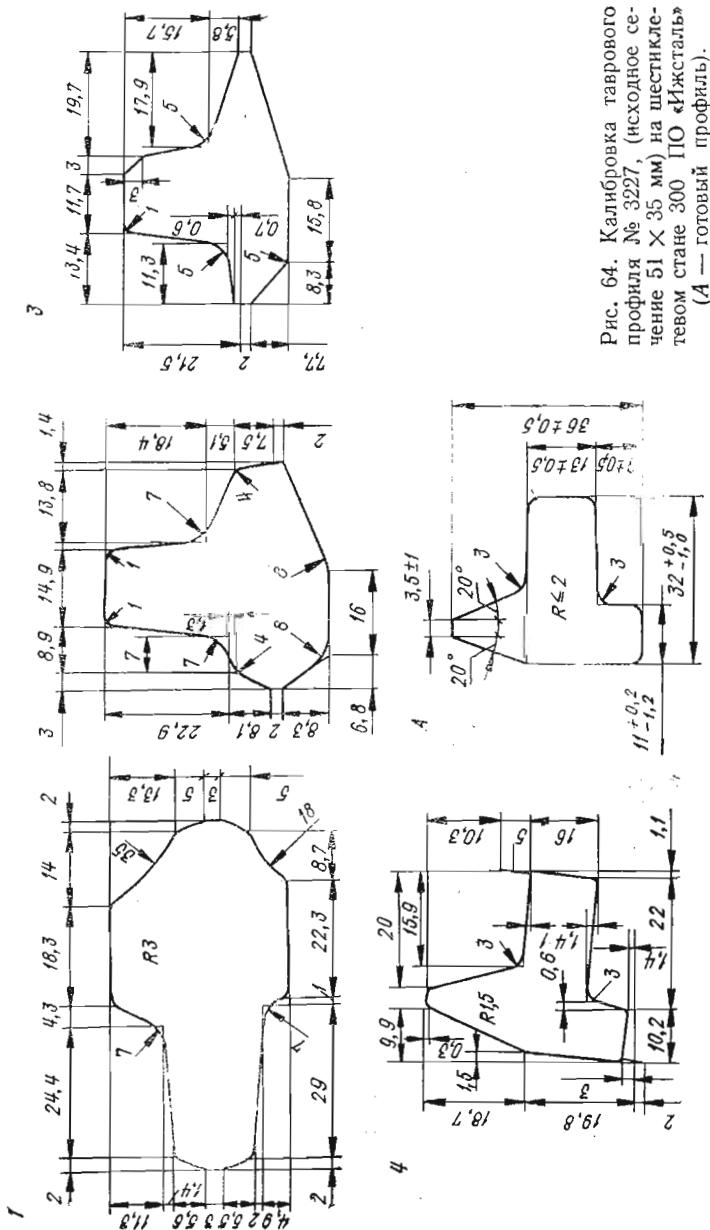


Рис. 64. Калибровка таврового профиля № 3227, (исходное сечение 51 × 35 мм) на шестинклевом стане 300 ПО «Ижсталь»
(A — готовый профиль).

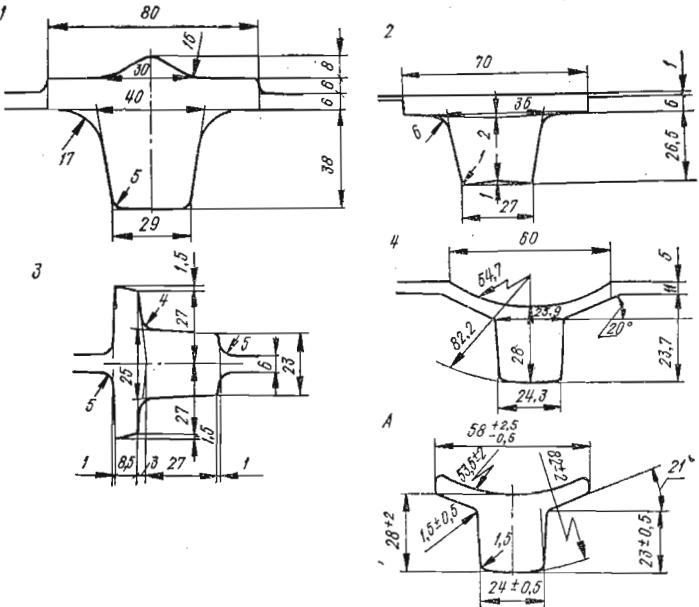


Рис. 65. Калибровка профиля для полюсов генераторов электромашин на линейном четырехклетевом стане 500 Гурьевского металлургического завода (готовый профиль).

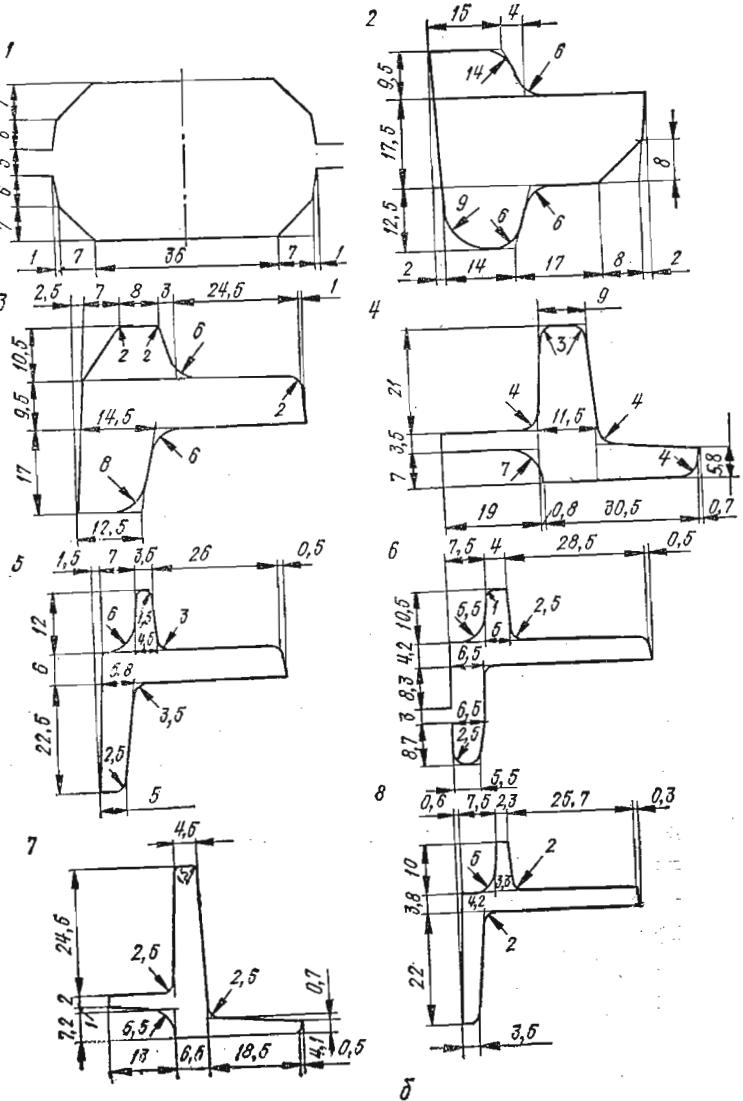
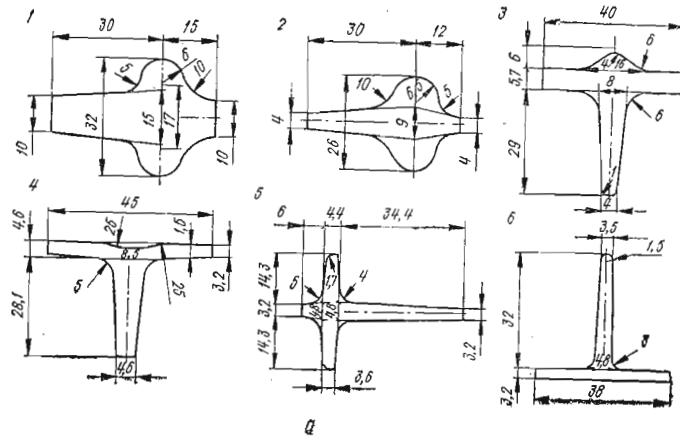


Рис. 66. Калибровка таврового профиля № 6, исходное сечение 32 × 32 мм (а) и таврового профиля исходным сечением 46 × 45 мм (б) для оконных и фонарных переплетов на линейном восьмиклетьевом стане 250 Чусовского металлургического завода.

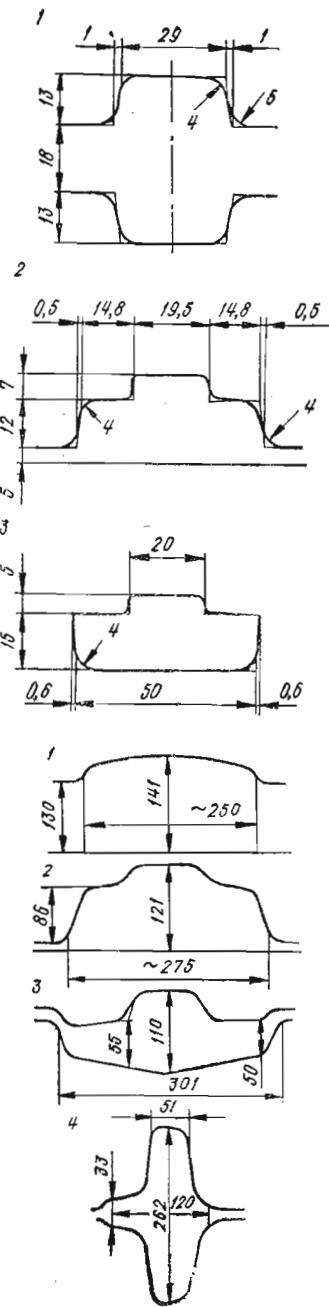


Рис. 67. Калибровка полосы для электродвигателей на шахматном десятиклетевом стане 300-1 Магнитогорского металлургического комбината.

Рис. 68. Калибровка специального таврового профиля $263 \times 68 \times 38 \times 35$ мм на зигзагообразном девятиклетевом стане 500 Кузнецкого металлургического комбината (исходное сечение 240×160 мм)

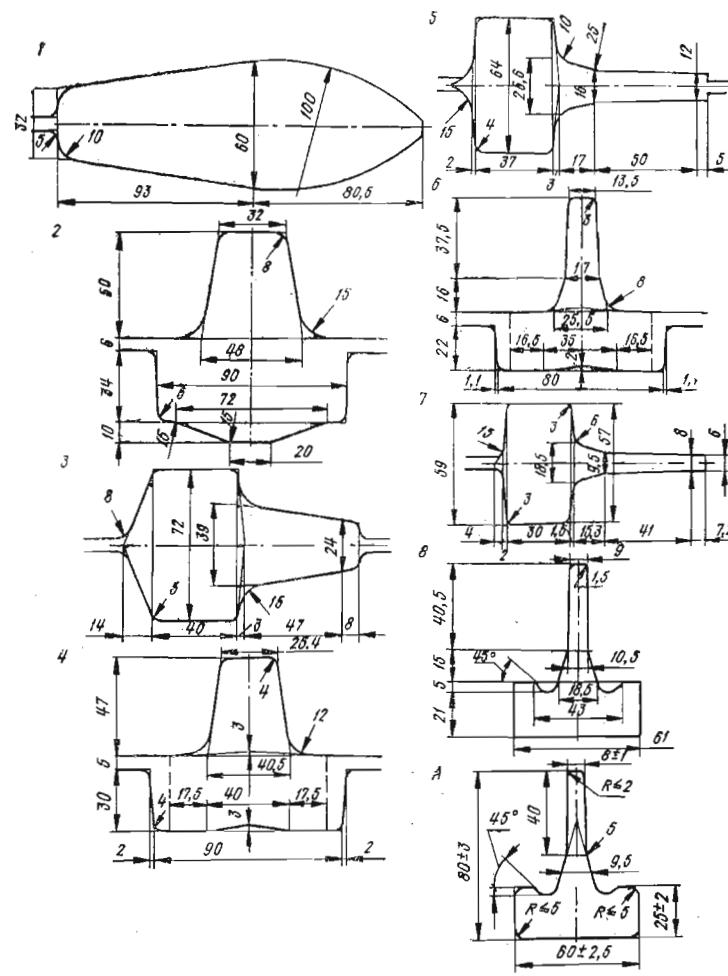
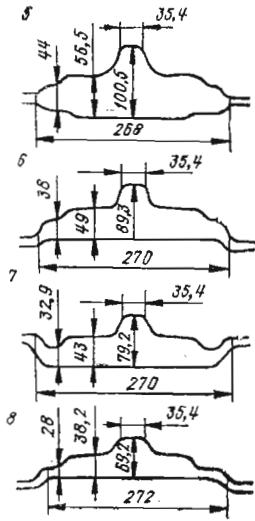


Рис. 69. Калибровка спецпрофиля для электролизеров на линейном четырехклетевом стане 500 Гурьевского металлургического завода:

A — готовый профиль

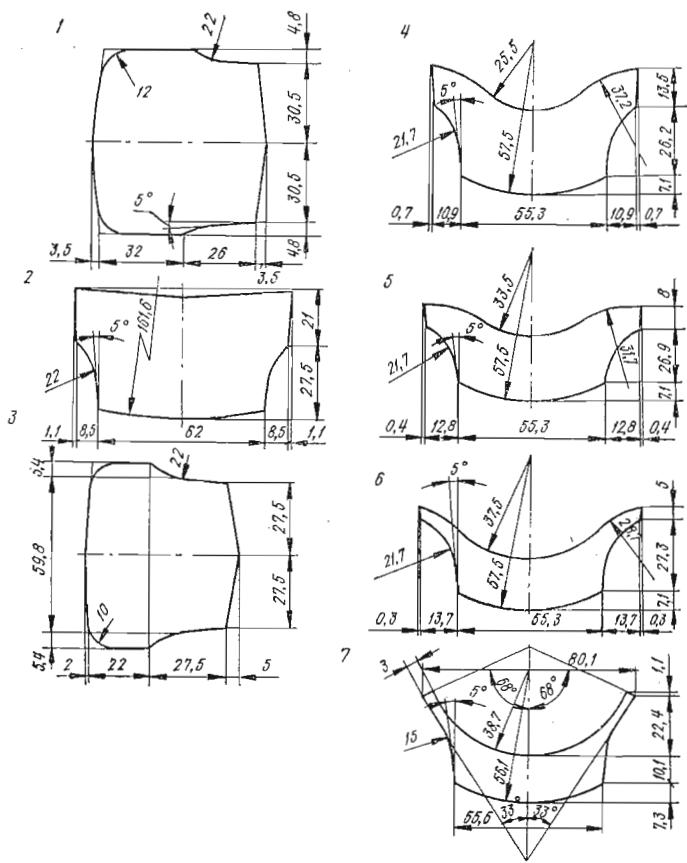


Рис. 70. Калибровка профиля «полюс» на линейном лягтиклетевом стане 450 металлургического завода «Серп и Молот»,

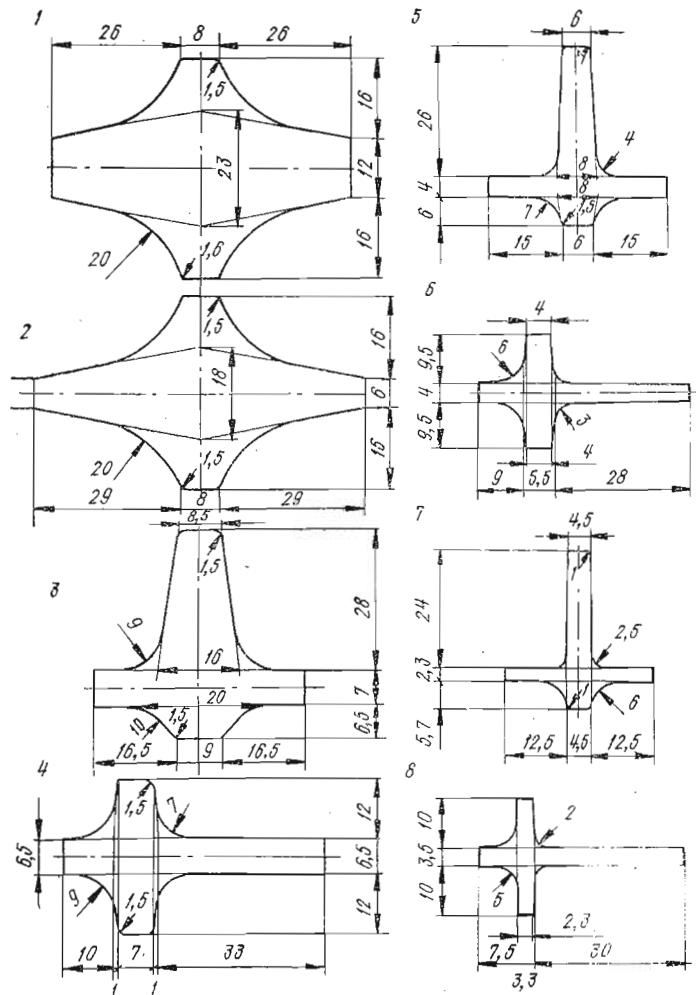


Рис. 71. Калибровка профиля оконного переплета № 9 на линейном восьмиклетеевом стане 250 Чусовского металлургического завода,

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

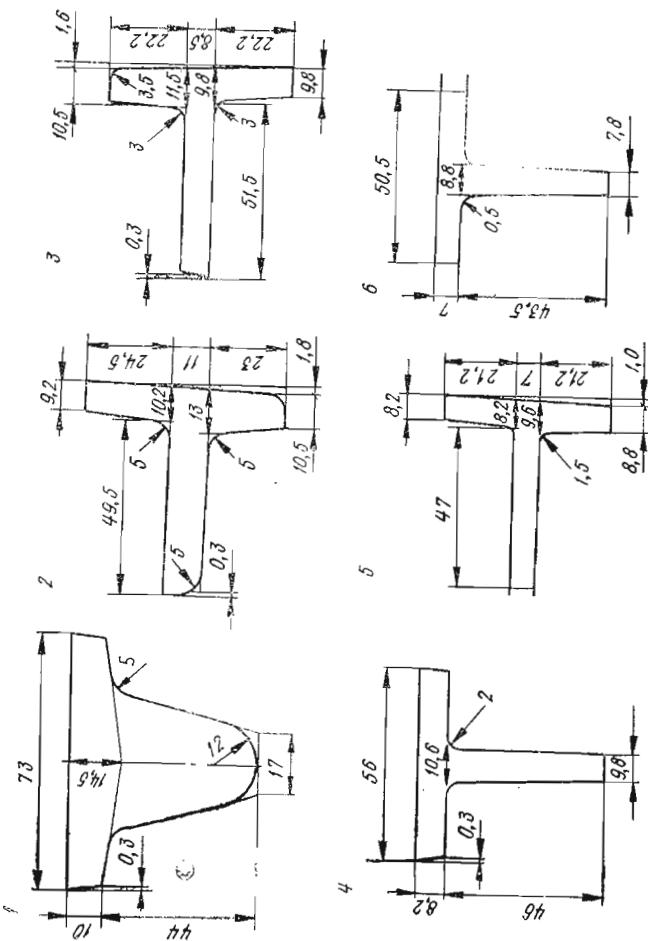


Рис. 72. Калибровка таврового профиля $50 \times 50 \times 7$ мм (исходное сечение 52×52 мм).

1. Специализация и сортамент прокатных станов / Н. М. Воронцов, И. Н. Филиппов, Ж. И. Гордиенко и др. // Сортопроприатное производство. — Харьков, 1978. — С. 16—19.
2. Илюкович Б. М. Прокатка тавровых профилей в открытых калибрах. — М.: Металлургиздат, 1961. — 69 с.
3. Илюкович Б. М., Меркуьев С. Е. Прокатка таврового профиля с постоянной толщиной стенки полок // Сталь. — 1972. — № 9. — С. 828—829.
4. Калибровка сложных профилей: Справочник / Н. Е. Скородов, Б. М. Илюкович, И. П. Шулаев и др. — М.: Металлургия, 1979. — 232 с.
5. Развитие технологий производства сортового проката в странах — членах СЭВ / И. П. Шулаев, Н. Ф. Грицук, В. С. Медведев, Ю. В. Филонов // Сталь. — 1985. — № 6. — С. 44—52.
6. Формирование показателей качества тавровых профилей / В. Т. Жадан, А. Г. Баталов, В. А. Трусов, С. М. Ионов // Металлург. — 1985. — № 11. — С. 26—27.
7. Свец В. Е. Сортамент фасонных профилей проката зарубежных стран // Сб. науч. тр. Всесоюз. науч.-исслед. ин-та организ. пр-ва и труда черн. металлургии. — 1961. — Вып. 6. — С. 86—97.
8. Производство сортового проката в широком сортаменте / Н. Ф. Грицук, Х. М. Сапрыгин, И. В. Гунин и др. — М.: Металлургия, 1973. — 272 с.
9. Серебриер В. Л., Сапожников А. Я., Дрозд В. Г. Новый способ производства экономичных фасонных профилей // Тр. Всесоюз. науч.-исслед. и проектно-конструкторского ин-та metallurg. машиностр. — 1970. — Вып. 28. — С. 3—13.
10. Павловский Г. М., Крупник И. А. Рациональная калибровка оконнорамных профилей и механизация трудоемких операций на мелкосортном стане // Сталь. — 1962. — № 12. — С. 1099—1102.
11. Прокатка профилей таврового сечения на полунепрерывном мелкосортном стане / А. П. Чекмарев, Ю. С. Чернобровенко, Н. Г. Паловский и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. — 1970. — № 1 (61). — С. 22—26.
12. Бейлон Росс Е. Калибровка валков и расположение прокатных станов. — М.: Металлургиздат, 1960. — 204 с.
13. Прокатка низкотавровых профилей для сварных широкополочных балок / А. А. Нефедов, В. Г. Дрозд, А. В. Жердов и др. // Тр. Всесоюз. науч.-исслед. и проект.-конструкт. ин-та metallurg. машиностр. — 1974. — Вып. 36. — С. 180—190.
14. Диомидов Б. Б., Литовченко Н. В. Калибровка прокатных валков. — М.: Металлургия, 1970. — 312 с.
15. Чекмарев А. П., Мутьев М. С., Машковцев Р. А. Калибровка прокатных валков. — М.: Металлургия, 1971. — 512 с.

16. Нойманн Х. Горячая прокатка специальных профилей // Калибровка прокатных валков.— М., 1965.— С. 212—239.
17. Прокатка сдвоенного полособульбового профиля с продольной разрезкой в валках чистовой клети / И. М. Ектор, В. М. Заруев, С. А. Гуров, И. Ф. Ревенко // Сталь.— 1960.— № 12.— С. 1113—1115.
18. Освоение таврового профиля на полуинпрерывном мелкосортном стане / Ю. С. Чернобривенко, Я. П. Заспенко, М. Д. Кучигин и др.// Сталь.— 1974.— № 11.— С. 1021—1023.
19. А. с. 184794 СССР, кл. 7а, 27.02. Проводка для ребровых калибров при прокатке тавровой стали.
20. Калибровка таврового профиля для тормозных колодок автомобиля «Москвич» / Г. С. Гун, Ю. А. Богатырев, Л. Е. Кандауров и др. // С. науч. тр. Магнитогорск. горно-металлург. ин-та.— 1974.— Вып. 140.— С. 77—83.
21. Исследование формоизменения таврового профиля при прокатке в трехвалковом калибре / Г. С. Гун, А. И. Крылов, № 5.— С. 101—104.
22. Прокатка фасонных профилей в многовалковых калибрах / В. Н. Выдрик, В. Г. Дукмасов, В. С. Нагорнов и др.// Металлург.— 1972.— № 2.— С. 29—31.
23. А. с. 778448 СССР, кл. В 21 В, 39/16. Рабочая клеть для прокатки тавровых профилей.
24. Казимиров А. А., Нефедов А. А. О производстве низкотавровых профилей для сварных широкополочных балок // Сталь.— 1961.— № 11.— С. 1001—1005.
25. Тарновский И. Я., Скородов А. Н., Илюкович Б. М. Элементы теории прокатки сложных профилей.— М. : Металлургия, 1972.— 352 с.
26. Особенности деформации металла в клиновых и полосотавровых калибрах / Ю. М. Чумаков, Г. М. Шульгин, В. Г. Солод. Вып. 2.— С. 113—117.
27. Экспериментальные исследования формоизменения металла в несимметричных калибрах крестообразной формы / В. Д. Есиев, А. Б. Илюкович, С. Г. Гончаренко, А. И. Король // Изв. вузов. Черная металлургия.— 1981.— № 2.— С. 66—69.
28. Планирование эксперимента в исследованиях технологических процессов / К. Хартман, Э. Лецкий, В. Шефер и др.— М.: Мир, 1977, 552 с.
29. Барам А. Н., Пугачев Я. Я. Калибровка экономичного фасонного профиля // Ленинград: Машиностр. и металлургия Кировского з-да. 1967.— С. 184—190.
30. Мутьев М. С. Калибровка черновых валков.— М. : Металлургия, 1964.— 191 с.
31. Барам А. Н., Пугачев Я. Я. Совмещенная калибровка фасонных профилей // Металлург.— 1968.— № 9.— С. 23—25.
32. Шуралев М. В., Некрасов С. Г. Прокатка профиля ПС-107А из легированной стали // Металлург.— 1960.— № 3.— С. 24—26.
33. Оптимизация прокатного производства / А. Н. Скородов, П. И. Полухин, Б. М. Илюкович и др.— М. : Металлургия, 1983.— 432 с.
34. Медведев В. С. Автоматизация проектирования технологических процессов сортовой прокатки // Сталь.— 1982.— № 5.— С. 52—54.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
Глава 1. Тавровые профили	5
Сортамент тавровых профилей	5
Соотношения между размерами тавровых профилей	12
Глава 2. Методы прокатки тавровой стали	16
Прокатка тавровой стали в закрытых калибрах балочного типа	16
Прокатка тавровой стали в открытых калибрах со свободным уширением	25
Прокатка тавровой стали в трехвалковых калибрах	33
Прокатка низкотавровой стали для сварных широкополочных балок	36
Глава 3. Исследование формоизменения при прокатке тавровой и крестообразной стали	40
Расчет формоизменения в ребровых тавровых калибрах	40
Расчет формоизменения в пластовых тавровых калибрах	43
Расчет формоизменения при прокатке крестообразных профилей	45
Экспериментальные исследования формоизменения при прокатке тавровой и крестообразной стали	48
Глава 4. Калибровка профилей таврового сечения	58
Типовые схемы прокатки тавровой стали в открытых калибрах	58
Особенности прокатки тавровой стали	67
Выбор исходной заготовки и числа проходов	78
Расчет калибровки тавровой стали	80
Прокатка и калибровка тавровой стали со смешенными полками	87
Освоение тавровой стали $57 \times 40 \times 7 \times 4$ мм	95
Инженерная методика расчета тавровой стали сложной формы	98
Прокатка несимметричной тавровой стали и тавровой стали сложной формы	106
Прокатка специальных тавровых профилей	110
Расчет калибровки на ЭВМ	120
Глава 5. Расположение калибров на валках. Валковая арматура и настройка стана	122
Определение положения нейтральной линии	122
Расположение калибров на валках	125
Валковая арматура и прокатные валки	137
Настройка стана	132
Приложение	136
Список литературы	149

Производственное издание

Илюкович Будимир Михайлович, Нехаев Николай Евгеньевич,
Левченко Лев Назарович, Лойферман Михаил Абрамович

Прокатка и калибровка
экономичных тавровых профилей

Редактор Е. К. Доброхотова
Оформление художника А. В. Воробьевса
Художественный редактор Ю. Я. Чертова
Технический редактор С. М. Ткаченко
Корректор Н. В. Медведева

ИБ № 4388

Сдано в набор 08.12.89. Подписано в печать 04.05.90. БФ 01654. Формат 84Х
ХХ108¹/32. Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная. Печать вы-
сокая. Усл. печ. л. 7,98. Усл. кр.-отт. 8,3. Уч.-изд. л. 8,34. Тираж 1000 экз.
Зак. № 9—4270. Цена 50 к.

Издательство «Техника». 252601, Киев, ул. Крещатик, 5.

Отпечатано с матриц Головного предприятия республиканского производ-
ственного объединения «Полиграфкнига». 252057, Киев, ул. Довженко, 3
в Нестеровской городской типографии, г. Нестеров, Львовской обл.,
ул. Горького, 8. Зак. 2799.