

# ПРОКАТКА ФАСОННЫХ ПРОФИЛЕЙ ДЛЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ



МОСКВА  
"МЕТАЛЛУРГИЯ"  
1983

Прокатка фасонных профилей для машиностроения. Илюкович Б.М., Шулаев И.П., Есипов В.Д., Меркурьев С.Е. — М.: Металлургия, 1983, 200 с.

Изложены основные материалы по прокатке фасонных профилей для машиностроения. Приведены методы расчета калибровок. Особое внимание уделено производству профилей для автомобильной промышленности, являющейся одним из основных потребителей фасонных профилей. На основании опыта работы отечественных и зарубежных прокатных станов даны рекомендации по выбору схем прокатки, количества проходов и формы калибров. Рассмотрены этапы освоения производства различных фасонных профилей.

Предназначена для инженерно-технических и научных работников металлургических и машиностроительных предприятий, научно-исследовательских и проектных организаций. Ин. 105. Табл. 6. Библиогр. список: 106 назв.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Предисловие . . . . .                                                                                                | 5   |
| Глава 1. Основные положения калибровки сложных профилей . . . . .                                                    | 7   |
| Технологическая классификация сложных профилей отраслевого назначения . . . . .                                      | 7   |
| Проектирование калибровки. Изготовление прокатных валков . . . . .                                                   | 9   |
| Валковая арматура и настройка стана . . . . .                                                                        | 13  |
| Глава 2. Фланцевые профили . . . . .                                                                                 | 16  |
| Прокатка и калибровка профилей П-образной формы . . . . .                                                            | 16  |
| Прокатка профилей для угольных конвейеров и шахтных стоек . . . . .                                                  | 35  |
| Прокатка профилей балочного типа . . . . .                                                                           | 40  |
| Тавровые профили . . . . .                                                                                           | 48  |
| Проектирование калибровки профиля стойки рефрижератора . . . . .                                                     | 56  |
| Глава 3. С-образные полосовые и угловые профили . . . . .                                                            | 63  |
| Профили для турбинных попавок . . . . .                                                                              | 63  |
| Прокатка и калибровка клиновидных профилей . . . . .                                                                 | 68  |
| Прокатка профилей для лемешных полос . . . . .                                                                       | 78  |
| Полосовые и угловые профили . . . . .                                                                                | 81  |
| Глава 4. Профили для ободов колес автомобилей . . . . .                                                              | 86  |
| Сортамент и технические требования . . . . .                                                                         | 86  |
| Определение углов изгиба при прокатке профиля обода . . . . .                                                        | 87  |
| Расчет калибровки при прокатке профилей ободов . . . . .                                                             | 93  |
| Освоение профиля замочного основания обода колеса 6.00 F-16 . . . . .                                                | 102 |
| Калибровка и прокатка профилей замочных частей для ободов колес . . . . .                                            | 105 |
| Прокатка профиля обода колеса автомобиля ЗИЛ-157 . . . . .                                                           | 110 |
| Калибровка и прокатка ободов на непрерывных станах . . . . .                                                         | 114 |
| Калибровка Z-образного профиля для обода колеса автомашины ГАЗ-66 . . . . .                                          | 119 |
| Глава 5. Попосовые профили с утолщениями по краям . . . . .                                                          | 125 |
| Сортамент и способы прокатки . . . . .                                                                               | 125 |
| Калибровка валков и технология прокатки . . . . .                                                                    | 127 |
| Производство профилей дверных петель высокой точности . . . . .                                                      | 136 |
| Теоретические и экспериментальные исследования формоизменения при прокатке профилей с утолщениями по краям . . . . . | 139 |
| Исследование точности прокатки . . . . .                                                                             | 143 |
| Методика калибровки полосовых профилей с круглыми утолщениями по краям . . . . .                                     | 144 |
| Глава 6. Профили бортовых колец ободов колес . . . . .                                                               | 149 |
| Прокатка профилей бортовых колец с трапециевидным выступом . . . . .                                                 | 149 |
| Прокатка и калибровка профилей бортовых колец в развернутых калибрах . . . . .                                       | 155 |
| Методика расчета калибровки профилей бортовых колец в развернутых калибрах . . . . .                                 | 159 |
| Прокатка профилей бортовых колец сложной формы . . . . .                                                             | 162 |
| Расчет калибровки Z-образного профиля для бортового копыта колеса автомобиля ГАЗ-66 . . . . .                        | 164 |
| Глава 7. Профили замочных колец колес автомобилей . . . . .                                                          | 169 |
| Сортамент и технические требования . . . . .                                                                         | 169 |
| Прокатка и калибровка профилей замочных колец Т-образной формы . . . . .                                             | 170 |
| Прокатка и калибровка профилей замочных колец Z-образной формы . . . . .                                             | 179 |

|                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------|-----|
| Глава 8. Профили для рессор автомобилей . . . . .                        | 187 |
| Технические требования и сортамент . . . . .                             | 187 |
| Прокатка трапециевидной рессоры . . . . .                                | 188 |
| Прокатка Т-образных рессорных профилей . . . . .                         | 191 |
| Освоение прокатки трапециевидно-ступенчатых рессорных профилей . . . . . | 194 |
| Библиографический список . . . . .                                       | 196 |

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В XI пятилетке предусматривается значительное увеличение производства проката. Главным направлением дальнейшего развития черной металлургии является коренное улучшение качества и увеличение выпуска эффективных видов металлопродукции [ 1].

В решении этой проблемы большого внимания заслуживает систематическое расширение сортамента сортового проката, который с 1960 г. обновлен на 40 % при увеличении общего числа профилей более чем в 1,5 раза.

Расширение сортамента в последние годы происходило [ 2] вследствие освоения производства новых профилей отраслевого назначения, применяемых в относительно небольших количествах для конкретных машин, механизмов и сооружений. Основным потребителем экономичных специальных профилей является машиностроение. Применение таких профилей возросло в автомобильной промышленности в 2 раза, в тракторном и сельскохозяйственном машиностроении в 2,8, в строительном, дорожном и коммунальном — в 3, в судостроении в 1,5, в тяжелом и транспортном машиностроении в 2 раза.

В настоящее время черная металлургия поставляет народному хозяйству более 5 тыс. профилирумеров, в том числе более 2 тыс. профилирумеров проката отраслевого назначения.

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.

В связи с развитием машиностроения усложняется и сортамент прокатываемых профилей. Форма многих новых профилей не имеет 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. Ошибки в выборе схем прокатки и режима деформации приводят к большим затратам времени и денежных средств. Как правило, освоение нового фасонного профиля требует две — три опытные прокатки, потери времени при которых составляют от 8 до 20 ч, а производственные потери достигают 800 — 4000 т. На изготовление валков и валковой арматуры на сортовых станах расходуется до 20 тыс. руб., а на рельсобалочных станах — 65 — 80 тыс. руб.

В результате больших затрат на освоение профилей приобретает существенное значение правильный выбор рациональной технологии и расчет калибровки. Для уже освоенного профиля значительное изменение схемы прокатки с заменой всего парка валков и валковой арматуры производится только в редких случаях.

Анализ и обобщение опыта проектирования калибровок новых сложных профилей имеет большой не только теоретический, но и практический интерес. К сожалению, в технической литературе еще недостаточно освещен

опыт работы по освоению и прокатке новых экономических профилей, основным потребителем которых является машиностроение. В результате при освоении новых профилей затрачивается большое количество времени и денежных средств. И это обстоятельство, безусловно, сдерживает освоение новых экономических профилей.

Авторский коллектив выражает глубокую благодарность калибровщикам и технологам металлургических заводов за помощь в подборе калибровок и практические советы при подготовке книги к изданию. Авторы благодарят сотрудников отраслевой лаборатории прокатки Днепропетровского индустриального института за активное участие в оформлении рукописи.

## Глава 1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ КАЛИБРОВКИ СЛОЖНЫХ ПРОФИЛЕЙ

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ СЛОЖНЫХ ПРОФИЛЕЙ ОТРАСЛЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Сортамент профилей отраслевого назначения по форме и размерам весьма разнообразен. Средняя продолжительность применения каждого профиля не превышает 5 — 10 лет. В связи с интенсивным развитием машиностроения и других отраслей промышленности потребность в новых профилях сложной формы непрерывно увеличивается. Применение профилей отраслевого назначения обеспечивает, как правило, значительную экономию металла и трудовых затрат у потребителя. Экономический эффект от использования сортовых профилей общего назначения несколько раз больше, чем от использования сортовых профилей общего назначения.

Форма поперечного сечения многих новых профилей не имеет аналогов среди освоенных профилей и поэтому для их прокатки приходится разрабатывать новые схемы калибровки.

Опыт калибровщиков каждого из металлургических заводов в основном базируется на прокатке профилей, производимых на данном заводе. Вследствие этого большой практический интерес представляет собой обобщение этого опыта создания и освоения калибровок профилей отраслевого назначения.

Анализ калибровок и схем прокатки различных профилей показывает [2], что все профили можно разделить на отдельные технологические группы, в зависимости от формы калибров, в которых получают профиль, и методов или приемов прокатки. Каждая технологическая группа имеет свои особенности.

Наиболее полная и детальная классификация профилей отраслевого назначения, приведенная в работе [2], основана на следующих положениях.

1. Весь сортамент профилей отраслевого назначения разделен на технологические группы с учетом принципов их калибровки и схем прокатки.
2. Каждая группа включает профили одинаковой формы с размерами одного порядка.
3. Симметрия профилей каждой группы должна быть одинакова (две оси симметрии, вертикальная ось симметрии, горизонтальная ось симметрии, асимметричные профили).

Таблица 1. Классификация профилей по группам и классам

| Класс | Название класса профилей                          | Номера групп, входящих в класс |
|-------|---------------------------------------------------|--------------------------------|
| I     | Полосовые с осями симметрии                       | 1, 2                           |
| II    | " кпировидные                                     | 3—6                            |
| III   | " с отогнутыми краями                             | 7                              |
| IV    | " с утолщениями по краям                          | 8—10                           |
| V     | Полособульбовые                                   | 11                             |
| VI    | Полосовые с ребрами жесткости                     | 12—14                          |
| VII   | C-образные                                        | 15—18                          |
| VIII  | Профили с отношением ширины к высоте $b/h \leq 4$ | 19—22                          |
| IX    | Тавровые и крестообразные                         | 23—25                          |
| X     | Угловые                                           | 26—28                          |
| XI    | Швеллерообразные                                  | 29—31                          |
| XII   | Корытообразные                                    | 32—34                          |
| XIII  | Двутавровые                                       | 35—37                          |
| XIV   | Рельсовые                                         | 38                             |
| XV    | Зетовые                                           | 39, 40                         |
| XVI   | Профили особо сложной формы                       | 41—43                          |

4. Схемы калибровки профилей одной группы имеют принципиальную общность.
5. Отношение ширины профиля к его высоте в каждой группе задано в определенных пределах.

Технологические группы подобных по форме профилей объединены в классы. Предложенная классификация включает 16 классов, которые в свою очередь состоят из 43 технологических групп. Распределение групп по классам представлено в табл. 1.

В работе [2] для каждой технологической группы приведены типовые примеры калибровок конкретных профилей. При отнесении профиля к той или иной технологической группе учтено подобие конфигураций рассматриваемого профиля и профилей данной группы независимо от их отраслевого применения. Форма сечения и взаимное расположение отдельных элементов профиля должны быть аналогичны форме сечения и взаимному расположению составных элементов рассматриваемой группы профилей. Элементы профиля рассмотрены в первую очередь по их расположению относительно осей симметрии профиля, который может иметь одну или две оси симметрии, или же быть асимметричным.

Технологическая классификация существующего сортамента профилей позволяет произвести выбор технологической группы для вновь осваиваемого профиля и тем самым рекомендовать для него принципиальную схему калибровки.

Кроме классификации по технологическим признакам производства все сложные профили в зависимости от условий их применения и эксплуатации разделяют на две основные группы:

1. Профили, используемые в машиностроении как отдельные детали машин и конструкций.
2. Профили, которые в машинах и механизмах используют в сопряжении друг с другом.

К профилям второй группы предъявляют повышенные требования к точности конфигурации и размеров тех элементов, которые работают в сопряжении. Одним из основных потребителей этих профилей является автомобилестроение и, в первую очередь, колесное производство грузовых автомобилей.

Колеса для грузовых автомобилей общего назначения, автоприцепов, автобусов и троллейбусов выпускают двух типов: стандартные колеса с уширенными ободами, имеющие 5-градусные посадочные полки, и колеса с плоскими ободами. Колеса имеют двух-, трех- и четырехкомпонентное исполнение отъемной бортовой части обода.

На рис. 1 показана конструкция колес для шин с регулируемым давлением, имеющих четырехкомпонентную конструкцию без болтовых соединений и распорного кольца. Обода колес этой группы имеют конические посадочные поверхности под углом  $5^\circ$ , и удержание бортов шины на них обеспечивается за счет повышенного натяга по носку борта шины. Для изготовления колес (см. рис. 1) используют горячекатаные профили замочной части 1, бортового 2, замочного 3 и посадочного 4 колец.

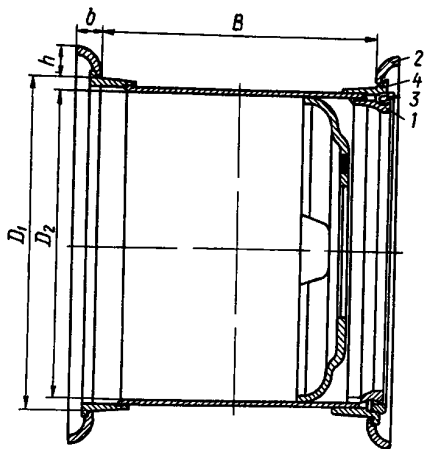


Рис. 1. Конструкция колеса с четырехкомпонентным исполнением отъемной бортовой части

Чтобы выбрать наилучшую схему прокатки, обеспечивающую наиболее точное выполнение участков сопряжения отдельных профилей, необходимо до начала разработки технической документации и технических условий на поставку профилей произвести тщательную проработку сборочного чертежа колеса и характера работы узла сопряжения профилей. Наиболее рациональной является совместная с потребителем разработка конструкции профиля с учетом условий прокатного производства и автомобилестроения. Такой подход находит все более широкое применение на практике. Аналогичным образом должно производиться согласование технических условий на прокатку профилей, имеющих элементы сопряжения, и для других отраслей машиностроения.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАЛИБРОВКИ. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

Выбор схемы прокатки и расчет калибровки зависит в первую очередь от прокатываемого профиля, типа стана и характеристик его основного и вспомогательного оборудования, мощности двигателей главного привода, качества металла и других факторов.

Правильно спроектированная калибровка должна обеспечивать выполнение следующих требований [3]:

1. Получение профиля с заданными размерами и чистой поверхностью.
2. Высокую производительность прокатного стана с минимальными затратами энергии и валков.
3. Минимальные внутренние напряжения в готовом профиле (в тех случаях, когда их нельзя избежать полностью).
4. Наиболее простую и удобную работу на стане, позволяющую в возможно большей степени осуществить механизацию и автоматизацию процесса и устранить применение ручного труда.
5. Создание наиболее рациональных монтажных схем валков для прокатки всего сортамента из одного или двух типов заготовки с минимальными затратами времени на пералвку и настройку.

При расчете калибровки исходят из размеров профиля в холодном состоянии с учетом установленных по ГОСТу или техническим условиям допускаемых отклонений. Коэффициент термического расширения для большинства сталей принимают  $1,012 - 1,015$ . Расчет калибровки ведут против хода прокатки.

В связи с отсутствием надежных формул для определения формоизменения для многих сложных профилей обычно для расчета абсолютного уширения  $\Delta b$ , особенно в развернутых калибрах, используют формулы, которые получены для прокатки прямоугольной полосы в гладких валках. При этом наиболее часто применяют формулу Б.П.Бахтинова [3]:

$$\Delta b = 1,15 (h_0 - h_1) / 2 h_0 (\sqrt{R(h_0 - h_1)} - (h_0 - h_1) / 2 f), \quad (1)$$

где  $h_0, h_1$  — толщина полосы до и после пропуска;  $R$  — катающий радиус валков.

Уравнение для определения коэффициента трения  $f$  в зависимости от температуры  $T$  имеет вид  $f = k_1 k_2 k_3 (1,05 - 0,0005 T)$ , где  $k_1, k_2, k_3$  — коэффициенты, учитывающие соответственно состояние поверхности и материал валков, влияние скорости прокатки и влияние легирующих элементов.

Калибровку нового фасонного профиля, не имеющего аналога среди освоенных, целесообразно проектировать в следующей последовательности:

1. Исходя из технических возможностей данного стана, сложности профиля, его размеров, требований точности, марки стали, а также анализа прокатки подобных по сложности и размерам профилей принимать принципиальную схему прокатки и число фасонных калибров.
2. На основании конфигурации сечения и необходимой точности отдельных элементов профиля намечать места разъемов и тип чистового калибра. При необходимости достижения высокой точности геометрии боковых граней профиля проекти-

ровать чистовой калибр закрытого типа. Если же к боковым граням не предъявлять жестких требований, то чистовой калибр принимать открытым.

3. Размеры чистового калибра рассчитывают с учетом коэффициента термического расширения и минусовых допусков на основные размеры. Зазор между буртами калибра определяют из условий удобства работы и упругой деформации рабочей клетки.

4. Форма и размеры прадчистового калибра проектировать исходя из принципа равномерной деформации по ширине полосы в чистовом калибре:

а) чистовой калибр разбивать по ширине на  $n$  вертикальных характерных сечений и в каждом  $i$ -том сечении определять высоту калибра  $h_{1i}$ ;

б) на основании практических данных или технологических соображений принимать коэффициент обжатия  $1/\eta$  в чистовом калибре (обычно  $1/\eta = 1,05 \div 1,25$ );

в) рассчитывать высоты  $h_{0j}$  характерных вертикальных сечений для прадчистового калибра  $h_{0j} = h_{1j}/\eta$  и затем обжатия  $\Delta h_j$ ;  $\Delta h_j = h_{0j} - h_{1j}$ ;

г) определять контуры прадчистового калибра:

для профилей с горизонтальной осью симметрии или близких к ним значения  $\Delta h_j$  по характерным вертикальным сечениям распределять поровну вверх и вниз от контура чистового калибра;

для асимметричных профилей с целью большей устойчивости полосы при обжатии в калибра значения  $\Delta h_j$  можно полностью откладывать вверх или вниз относительно контура чистового калибра;

характерные точки вертикальных сечений прадчистового раската соединять отрезками, радиусами и кривыми аналогично контуру чистового калибра.

5. На основании анализа конфигурации сечения и размеров прадчистового раската определять места разъемов и тип прадчистового калибра, а также величину зазора. Для обеспечения в чистовом калибре расчетных условий деформации предусматривать прадчистовой калибр закрытого типа. Следует отметить, что для лучшего достижения необходимой формы, расположение прадчистового калибра относительно оси валков можно принимать другим по сравнению с чистовым калибром.

6. После определения размеров и формы прадчистового калибра разрабатывать конструкцию подготовительных калибров, обеспечивающих переход от подката простой формы (прямоугольника, квадрата, круга и т.д.) к сечению раската в прадчистовом калибре.

При проектировании подготовительных калибров следует стремиться перераспределить металл по ширине сечения в первых по ходу прокатки калибрах таким образом, чтобы оно соответствовало распределению металла в прадчистовом калибре. Для выполнения этого условия максимальную неравномерность деформации по ширине калибра предусматривают в первом фасонном калибре.

Для увеличения стойкости прадчистового и чистового калибров обжатия в подготовительных фасонных калибрах целесообразно уменьшать по мере приближения к прадчистовому калибру форму и размеры полосы, задаваемой в прадчистовой калибр, определяют обжатием и степенью неравномерности деформации по ширине калибра, которые с увеличением числа фасонных калибров уменьшаются. Коэффициент обжатия в прадчистовом калибра (обычно  $1/\eta = 1,10 \div 1,45$ ) следует принимать больше, чем в чистовом. Для определения формы и размеров подготовительных калибров нужно использовать метод разбивки на характерные вертикальные сечения.

При проектировании подготовительных калибров следует в их числе предусматривать калибры, обеспечивающие обжатие боковых граней и контроль ширины раската, а для фланцевых профилей — ширину полок (такие калибры являются контрольными). Изменением зазора в этих калибрах можно в широких пределах изменять размеры сечения полосы, поступающей в последующие калибры.

7. Получение готового профиля во многом зависит от заполнения первого фасонного калибра. Так как в большинстве случаев надежные методы расчета формоизменения отсутствуют, то заполнение первого фасонного калибра нужно определять на основании анализа работы подобных калибровок при значительных допущениях и приближениях. В результате возможны существенные ошибки, избежать которых практически невозможно. Поэтому перед испытанием разработанной калибровки

необходимо подготавливать заготовки нескольких размеров и освоение начинают с заготовки меньшего сечения. При этом разработанную калибровку профиля принято считать рациональной, если она позволяет регулировать заполнение калибров изменением зазора в контрольных калибрах или за счет размеров исходной заготовки и незначительной переточки некоторых подготовительных калибров.

8. После построения фасонных калибров необходимо производить графический анализ входа полосы в калибры и обжатия по ширине калибра в установившемся процессе прокатки и дать оценку устойчивости полосы в калибре при захвате. Для этого на ватмане нужно вычертить контур сечения раската, а на кальке — конфигурации верхнего и нижнего ручьев калибра, в который поступает данный раскат. Затем при постепенном сближении по одной вертикали контуров ручьев проследить вход полосы в ручей верхнего и нижнего валков. В правильно спроектированной калибровке полоса при захвате устойчиво входит в калибр и смещение и скручивание отсутствуют.

9. В связи с тем, что расчет деформации металла в фасонных калибрах сложной конфигурации произвести с достаточной точностью весьма трудно, то важным этапом в освоении калибровки нового профиля являются результаты первой прокатки. При этом необходимо анализировать захват полос по калибрам и поведение раскатов на выходе из валков, а также заполнение калибра металлом на основании темпетов, отражаемых от полосы каждого прохода при прокатке. В результате удастся установить степень соответствия фактической и расчетной деформации и наметить пути устранения ошибок.

При калибровке важное значение имеет определение нейтральной линии калибра, относительно которой моменты сил, приложенных к профилю со стороны верхнего и нижнего валков, равны.

Для определения положения нейтральной линии в фасонных калибрах существует несколько способов [3, 4, 5], подсчеты по которым часто дают отличные друг от друга результаты.

Одним из наиболее широко применяемых на практике является способ проведения нейтральной линии через центр тяжести площади калибра. Идея этого способа заключается в том [3], что воздействие валков на отдельные элементы профиля принимают пропорциональным их статическим моментам. В этом случае точкой приложения равнодействующей всех сил, действующих на профиль, является его центр тяжести.

Применению этого метода способствует его простота, так как центр тяжести калибра определяют без всяких расчетов уравниванием шаблона калибра на тонкой кромке обычной линейки.

После определения положения нейтральной линии во всех калибрах делают монтажный чертеж валков, по которому определяют необходимый врез калибров в валки и рассчитывают диаметры промежуточных буртов. На рабочем чертеже проставляют также диаметры, соответствующие характерным элементам калибров.

Обычно для трапециевидных клеток минимальное перекрытие в калибре равно 8 — 10 мм и определяет его по первому калибру. По остальным калибрам клетки эту величину принимают произвольной. Если имеется сочетание закрытых и полужакрытых калибров, то диаметры промежуточных буртов неодинаковы и их конструируют в двойном виде.

Уклоны по разъемам калибров, как правило, небольшие. Во избежание подразаания кромок раската верхней частью стенок калибра иногда бывает целесообразно выполнить уклон дифференцированным, увеличивающимся за пределами очага деформации. Для фиксирования взаимного расположения валков предусматривают опорные конусы с уклоном 6 — 8 %. Уклон стенок промежуточных буртов составляет 15 — 20 %.

При прокатке профилей оснований автободов, а также и других тонкостенных профилей необходимо предусмотреть равенство опорных буртов, так как разница между диаметрами опорных буртов, отличающаяся направлением или величиной с разницей между катающими диаметрами соответствующих калибров, может

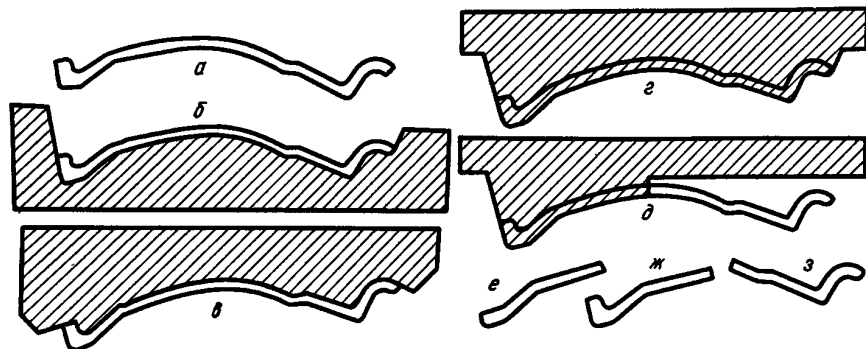


Рис. 2. Комплект шаблонов для нарезки чистового калибра при прокатке профиля замочного основания обода колеса 6,00F-16

привести к кратковременной остановке одного из валков. После чего следует резкий удар, нередко сопровождающийся поломкой муфты или трещиной вальца.

Обычно с учетом выполнения опорных конусов крайние бурты сдвоены. Для обеспечения равенства их диаметров иногда приходится предусматривать тройные бурты.

Величину зазоров между наклонно-вертикальными и горизонтальными элементами буртов, а также и в разъемах калибров, определяют следующим образом. При отсутствии зазоров в опорных буртах должны оставаться зазоры между промежуточными буртами не более 0,2—0,3 мм. При этом должна быть исключена также вероятность касания между элементами верхнего и нижнего ручья.

При смещении верхнего вальца вправо или влево до соприкосновения опорных буртов должны оставаться зазоры в разъемах калибров до 0,2—0,3 мм, а также зазоры между стенками промежуточных буртов.

Комплект шаблонов должен обеспечить возможность наиболее рациональной последовательности нарезки калибров. На рис. 2 представлен комплекс шаблонов чистовой клетки для прокатки основания обода колеса 6,00F-16, который включает рабочий а, контрольные б и в, посадочный г, посадочный на замочную часть д и вспомогательные е, ж, з шаблоны.

Прокатные валки комплекта чистовой клетки для прокатки обода изготавливают в определенной последовательности. Обработку начинают с вальца, имеющего закрытые ручьи. При этом вначале разцом прямоугольной формы производят врез в средней части калибра до диаметра, на 2 мм превышающего указанный на чертеже. Затем фасонными резцами растачивают последовательно боковые участки, соответствующие замочной и бортовой частям, также с соответствующим припуском до 1,5—2,0 мм на чистовую обработку.

Далее переходят к чистовой обработке калибров. Глубину вреза контролируют посадочными шаблонами (рис. 2, г, д). Обработку открытого ручья калибра верхнего вальца производят с установленным над ним нижним валком. При этом среднюю часть калибра растачивают резцом, соответствующим форме профиля.

Первоначально глубину вреза контролируют кронциркулем с припуском на чистовую обработку, затем просвет между опорными буртами устанавливают по чертежу и производят чистовую обработку калибров, контролируя размеры ручья вспомогательными шаблонами (рис. 2, е, ж, з), а также специальными мерками определенной толщины и рабочим шаблоном (рис. 2, а). Контрольные шаблоны (рис. 2, б, в) применяют для периодической проверки рабочих и вспомогательных шаблонов, а также для контроля режущей кромки резцов.

Аналогичную технологию используют при изготовлении валков и для других сложных профилей.

## ВАЛКОВАЯ АРМАТУРА И НАСТРОЙКА СТАНА

Валковой арматурой в практике работы прокатных станов уделяют большое внимание как фактору настройки стана. Соответствующей установкой пропусков, пинеек и другой арматуры профиля за счет смещения металла к левой или правой кромке калибра. Такое перераспределение металла может быть существенным и нередко используют в процессе настройки стана при прокатке несимметричных профилей.

Между тем, основное назначение валковой арматуры — обеспечение точной задачи полос в калибры и выход их из калибров — правильнее было бы считать единственным ее назначением, делая исключение только для некоторых особых ситуаций, описанных ниже. Настройка стана должна быть обеспечена, прежде всего, правильной установкой валков и симметричным относительно калибров расположением арматуры.

Перераспределение металла по элементам сечения за счет арматуры может быть применено только в крайнем случае, когда калибровка еще не доработана и нет другой возможности получить профиль в соответствии с требованиями технических условий. Такой способ следует считать вынужденным и временным, так как он не обеспечивает устойчивых результатов.

Для прокатки фасонных несимметричных профилей применяют преимущественно валковую арматуру скольжения: коробки, пропуски, линейки, проводки.

Обычно форма поверхности проводок почти полностью повторяет контур выходящей полосы без ее кромок, пропуски же строят по характерным плоскостям сечения полосы из предыдущего калибра. Чтобы проводку правильно установить в калибра и она бы плотно прилегалась по всему контуру, необходимо определить ее основные параметры (рис. 3) с учетом катающих диаметров по элементам калибра [6].

Геометрический метод построения, обычно применяемый при проектировании проводок сортовых станов, является довольно трудоемким и не гарантирует точности размеров. Эти недостатки особенно сказываются при проектировании проводок для фасонных калибров. Как правило, даже незначительные отклонения в размерах приводят к неустойчивому контакту носка проводки с поверхностью ручья.

Аналитический способ определения основных переменных размеров проводок значительно упрощает задачу. Расстояние по горизонтали от оси вальца до носка проводки  $A$ , длина носка  $B$ , длина проводки от носка до пятки  $l$ , смещение верхнего контура носка  $a$  и размер  $c$  в зависимости от конфигурации калибра определяют [6] из следующих зависимостей (рис. 3):  $A = \sqrt{(h_1 + h_2)D - (h_1 - h_2)^2}$ ;  $B = \sqrt{(H + h_1)D - (H + h_1)^2}$ ;  $l = L_0 - A$ ;  $a = A - A_1$ ;  $c = l - B$ .

Размер  $b$  не рассчитывают, так как при изготовлении проводки профиль носка выполняют из одного центра. Исходя из приведенных формул можно для каждого

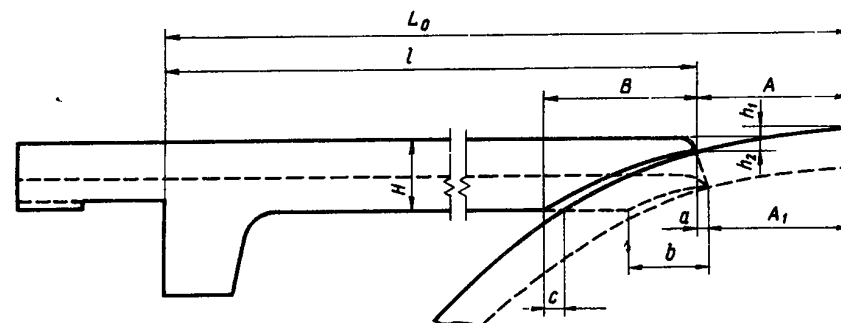


Рис. 3. Проводка для сортовых станов

стана составить таблицы основных параметров проводок для текущих расчетов в любых интервалах катающих диаметров.

Иногда вводные или выводные линейки в результате неравномерного износа оставляют царапины на кромках профиля. В этом случае становится необходимым применение роликовой арматуры, которая для прокатки сложных профилей в последние годы находит все большее применение. Из-за обусловленного роликами большого расстояния от очага деформации жепательно использовать двухпарные роликовые коробки, чтобы придать задаваемому в калибр раскату достаточную устойчивость, что исключает косую задачу и образование лампасов в результате неточного направления полосы в калибр.

На рис. 4 показана двухпарная роликовая коробка для прокатки тавровой стали. Основными деталями приведенной конструкции роликовой арматуры являются корпус коробки 1, роликодержатели 2 с роликами 3 и фасонные вводные пропуски 4.

Роликовые коробки конструируют с роликами на подшипниках качения и скольжения. Последние имеют меньшие габариты, но в то же время и меньшую стойкость подшипникового узла.

Валковая арматура не предназначена для исправления дефектов калибровки и настройки валков. Однако в некоторых случаях такое ее назначение предусматривают заранее, например, для устранения скручивания полосы, если форма сечения профиля обуславливает такое расположение калибра, что избежать скручивания невозможно.

Устранение незначительного скручивания полосы валковой арматурой достигают следующими путями: а) применением вводных пропусков со смещением в сторону скручивания контуром ручьев; б) установкой роликовой кантовущей втулки на выходной стороне; в) применением специального выводного жепоба с направляющими секторами. Первый способ наименее целесообразен, так как приводит к повышенному износу вводных пропусков.

При настройке в процессе прокатки автомобильных профилей основное внимание обращают на точное выполнение плоскостей замочной части, находящихся в сопря-

жении с другими деталями узла. Это относится как к профилям основания ободов колес, так и к профилям замочных и бортовых колес.

Если калибровка выполнена правильно, то эти элементы должны быть хорошо сформированы при номинальном расположении валков и арматуры, т.е. без взаимного смещения ручьев калибров и смещения валковой арматуры относительно калибров.

Равенство величины зазоров в опорных конусах валков, означающее правильное взаимоположение ручьев калибров, следует соблюдать во всех клетях. Для подготовительных калибров это не менее важно, чем для чистовых.

Практика работы подтверждает, что чаще всего при настройке стана обращают первоочередное внимание на настройку чистового, реже предчистового калибров. К настройке подготовительных калибров обычно приходят в последнюю очередь. Это особенно характерно для станков с трахвалковыми клетями. Таким образом иногда удается исправить ошибки в настройке подготовительных калибров, но, как правило, настройка только чистового и предчистового калибров не обеспечивает устойчивого нормального процесса прокатки. Поэтому необходимо стремиться к оптимальному выполнению элементов сечения в первых фасонных калибрах, что обуславливает правильное распределение металла в последующих калибрах, поскольку полоса самоцентрируется в них в результате совпадения контуров сечений полосы и калибра.

Прокатка на линейный станок с трахвалковыми клетями имеет некоторые дополнительные сложности. Так, например, смещение одного вала относительно другого приведет к изменению условий деформации не в одном, а, по меньшей мере, в двух калибрах, расположенных в одном горизонте. Кроме того, труднее распределить величину обжатия по толщине между калибрами без нарушения параллельности ручьев. Иногда один и тот же результат (например, заполнение одной из кромок профиля) может быть получен разными путями. осевым смещением одного из валков, увеличением или уменьшением зазора между вальками, изменением расположения валковой арматуры и т.д.

Рабочее время старшего вальцовщика прокатного стана ограничено и он, естественно, стремится максимально сократить время на настройку. Нередко он выполняет два или три изменения в настройке стана одновременно. Эта практика нецелесообразна. Не говоря уже о том, что она не дает возможности правильно понять технологический процесс на последующее время, такая организация работы всегда приводит к увеличению времени настройки и отклонениям от схемы прокатки, а иногда заводит в тупик даже сравнительно опытного старшего вальцовщика. Для двухвалковых и трехвалковых станков, на которых прокатывают широкий сортмент сложных профилей, такая ситуация не является исключением даже при настройке давно освоенных профилей. Запомнить все выполненные изменения в этом случае невозможно. Исправление одного дефекта может привести к появлению другого в другом элементе сечения.

Для обеспечения рациональной настройки целесообразно установить вальки с равными зазорами в опорных конусах, проверить и установить в соответствии с чертежом зазоры между крайними буртами и устранить смещение вводных пропусков относительно калибров, если такое смещение заранее не оговорено в технологической инструкции. Это не удлинит, а скорее всего сократит время настройки. После симметричной (без смещения) установки вальков и арматуры настройку следует вести в соответствии с технологической инструкцией. Иногда настройку арматуры можно выполнять с применением темплетов от ранее прокатанной партии.

Настройка стана при прокатке сложных профилей требует известных навыков и основывается на опыте прокатки каждого профиля.

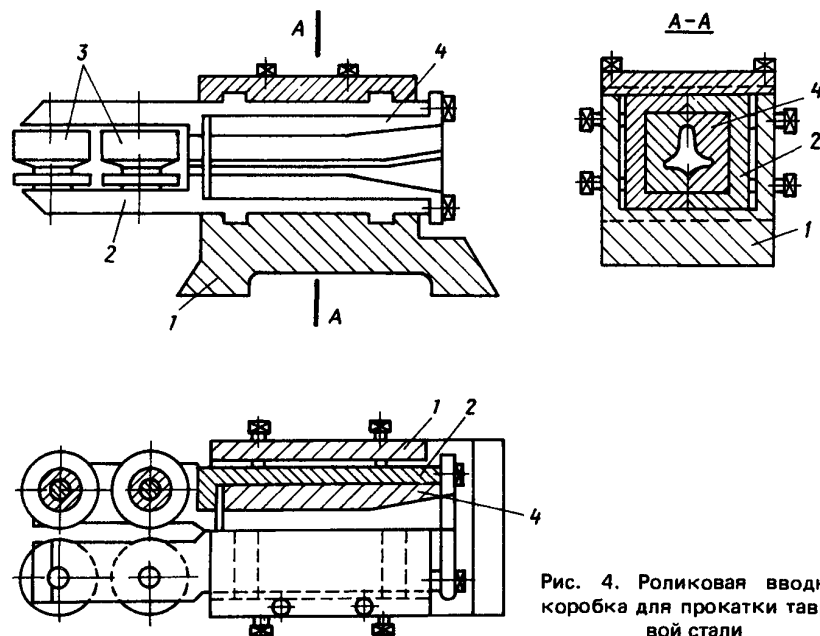


Рис. 4. Роликовая вводная коробка для прокатки тавровой стали



В процессе опытной прокатки профиля ПС-102 из полосы 44,6х44,6 мм наблюдался неудовлетворительный захват и плохое центрирование полосы в первом фасонном калибре. При корректировке калибровки в калибрах 1 и 2 (рис. 6, б) увеличили толщину стенки с 18,5 до 23,00 мм и с 11,5 до 15,0 мм соответственно. При этом угол захвата в калибре 1 уменьшился на  $2^\circ$ , что обеспечило надежный захват полосы в этом калибре. Для улучшения устойчивости полосы и более симметричной разрезки дно закрытых ручьев калибров 1 и 2 было сделано плоским. Откорректированная калибровка профиля ПС-102 представлена на рис. 6, б.

Прокатку профиля ПС-108 проводили из квадратной полосы 52 мм в четырех закрытых калибрах. Калибры 1 и 2 – сопряженные.

Разрезной калибр 2 был спроектирован с плоским гребнем и закругленными кромками. Разрезающий гребень по форме и размерами почти

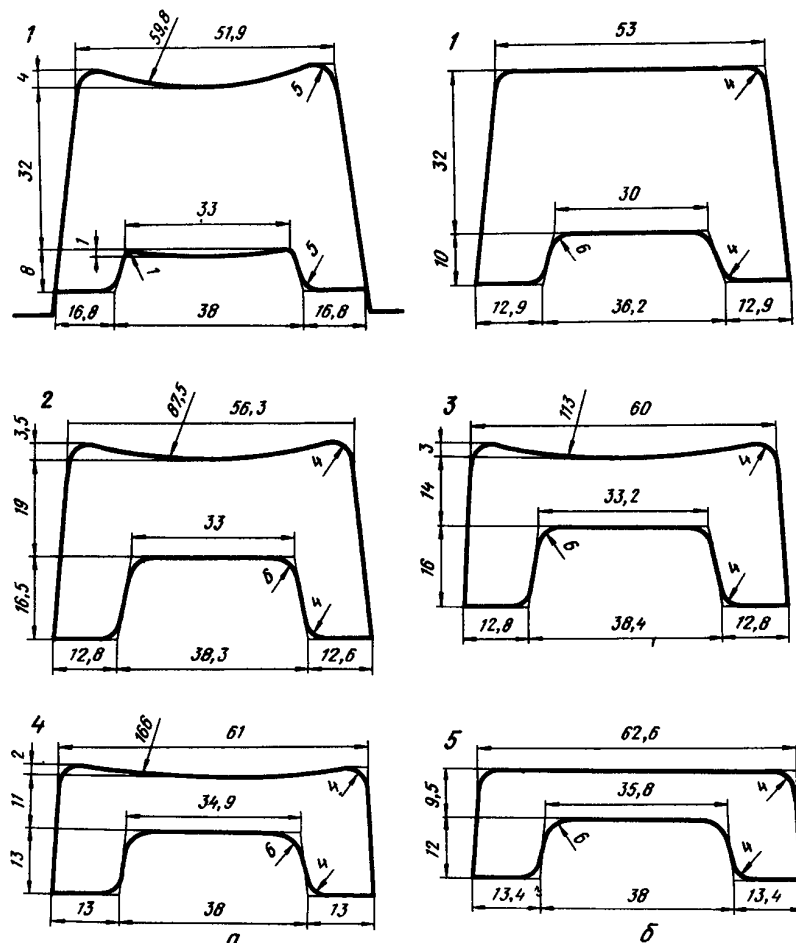


Рис. 7. Калибровка профиля ПС-120:  
а – вариант I; б – вариант II

полностью соответствовал гребню чистового калибра. При выборе такой формы гребня предполагалось, что вследствие большой площади полок возможная утяжка внутренних углов концов полок будет компенсироваться металлом, вытесненным при обжатии стенки. Поэтому боковое обжатие полок в калибрах 3 и 4 было принято незначительным, а уширение в калибрах 2, 3 и 4 существенно ограничило. Однако опытная прокатка не подтвердила принятых исходных положений. Тупой гребень разрезного калибра приводило к значительной утяжке внутренних углов концов полок и прилегающих к ним участков. Получившаяся утяжка не устранялась в последующих калибрах и на готовом профиле в этих местах оставались скосы. Еще большим недостатком варианта I являлось сильное защемление полосы в закрытом ручье калибра 2. При этом имели место случаи окова валков. Захват полосы во всех калибрах был удовлетворительный.

При изменении калибровки профиля ПС-108 отказались от применения сопряженных калибров и для лучшего выполнения полок полосу разрезать начали с калибра 1. Форму гребней последующих калибров соответственно также изменили и увеличили боковое обжатие полок. Для устранения защемления уменьшили степень стеснения, особенно в калибре 2, где наиболее сильно сказывается распирающее действие гребня. Для увеличения устойчивости полосы в калибрах 2 и 3 отказались от выпуклости дна закрытых ручьев. Так как формоизменение полок осуществляется в открытых калибрах и утяжка внешних углов концов полок почти отсутствует, то с целью устранения переполнения и образования заусенцев концы полок были спроектированы со скосами. При повторной прокатке профиль полностью соответствовал техническим условиям.

Опытную прокатку профиля ПС-120 осуществляли в пяти фасонных калибрах (рис. 7, а) из полосы сечением 50х50 мм. В варианте I калибровки гребень разрезного калибра был выполнен с острыми кромками. Кроме того, во всех калибрах предусмотрели значительное уширение, чтобы предотвратить защемление полос в закрытых ручьях.

Однако применение в разрезном калибре широкого гребня с острыми кромками привело к нежелательным последствиям. Вследствие выпуклости вершины калибра и значительной ширины калибра наблюдали плохое центрирование полосы и смещение ее в калибре. В результате после разрезного калибра получали раскат с полками различной толщины. При прокатке в последующем калибре 2 происходило несовпадение гребней раската и калибра и на внутренней поверхности одной из полок образовывался уступ, который не удавалось полностью устранить в калибрах 3, 4 и 5. На готовом профиле оставалась риска глубиной 0,3 – 0,5 мм, что и явилось основным недостатком варианта I калибровки профиля ПС-120. Для устранения образования рисок на внутренней поверхности полок дно закрытого ручья калибра 1 было сделано плоским, острые углы гребня закруглены и ширина гребня уменьшена с 33 до 30 мм (рис. 7, б).

На линейном четырехклетевом стане 400 был освоен [11] профиль ГК-06 из легированных сталей. Исходная заготовка – сечением 85х85 мм.

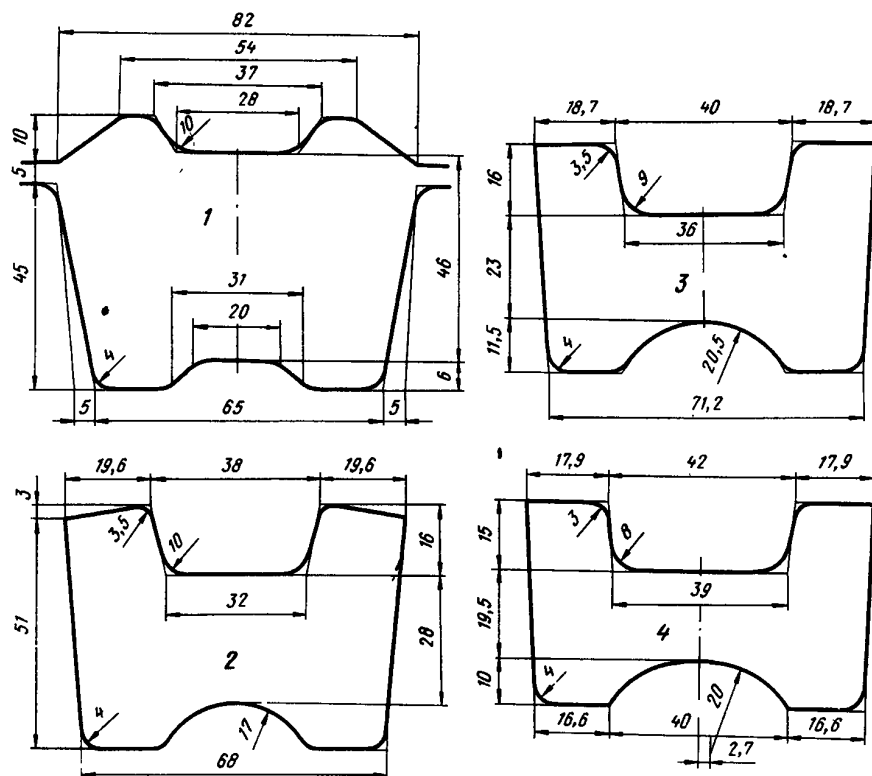


Рис. 8. Калибровка профиля ГК-06

Профиль ГК-06 формируется в четырех фасонных калибрах (рис. 8) из раската сечением 63X63 мм.

При разработке калибровки профиля ГК-06 (рис. 8) калибр 1 был выполнен полузакрытым с широким разрезающим гребнем, что позволяет уменьшить диаметр буртов закрытого ручья и повысить прочность валька, на котором расположен открытый ручей. Широкие и плоские разрезающие гребни со стороны обоих валков обеспечивают хорошую устойчивость полосы в калибре 1. Все фасонные калибры спроектированы с ограниченным уширением, что способствует более четкому выполнению элементов профиля. Чтобы предотвратить переполнение калибров, внешние углы концов полок выполнены со скосами. Прокатка опытных, а затем и промышленных партий показала [11], что при настройке стана в соответствии с принятой схемой получается хорошее заполнение всех калибров и обеспечиваются заданные размеры готового профиля при высоком качестве поверхности. Применение профиля ГК-06 в машиностроении вместо полосового проката позволяет экономить до 30 % легированной стали и значительно снижать трудоемкость механической обработки.

Профили П-образной формы из высоколегированных, конструкционных, нержавеющей и жаропрочных сталей и сплавов находят все более широкое применение в машиностроении. Эти профили обычно получают на линейных сортовых станах 400 – 550 металлургических заводов объединения "Союзспецсталь" [12].

Для исследования формоизменения, усовершенствования технологии прокатки и улучшения технико-экономических показателей в МИСиСе выполнено [13, 14, 15] комплексное исследование прокатки П-образных профилей в лабораторных и промышленных условиях.

Для получения аналитических зависимостей в разрезных калибрах (рис. 9) для коэффициента заполнения полок  $\psi = S_n / S_{п.к}$  (где  $S_n$  – площадь полки профиля,  $S_{п.к}$  – площадь полки калибра), коэффициента вытяжки  $\lambda$  и усилия прокатки  $P$  как функций параметров очага деформации проведено [12] исследование на лабораторном стане 210 с моделированием условий прокатки сортамента П-образных профилей [16] на станах 400 – 550. В качестве параметров очага деформации приняли следующие относительные величины:  $m_1 = H_0 / H_1$ ;  $m_2 = 2B_0 / (b_0 + b_1)$ ;  $m_3 = 2H_1 / (b_0 + b_1)$ ;  $m_4 = h_r / H_1$ ;  $m_5 = 2b_r / (b_0 + b_1)$ .

Для прокатки нержавеющей стали получены уравнения:

$$\psi = -676,3 + 561,1 m_1 + 720,3 m_2 - 501,7 m_4 - 513,9 m_5 - 507,3 m_1 m_2 - 498,7 m_2 m_4 + 497,0 m_2 m_5;$$

$$\lambda = 0,290 - 0,736 m_4 + 0,952 m_1 m_4 - 0,468 m_2 m_5 + 3,126 m_4 m_5,$$

$$P = -45,4 + 84,4 m_1 m_3 - 148,6 m_2 m_3 + 93,6 m_2^2 + 69,7 m_4 m_5,$$

которые могут быть использованы в следующей области изменения параметров прокатки:  $m_1 = 1,005 \div 1,245$ ;  $m_2 = 0,88 \div 1,02$ ;  $m_3 = 0,440 \div 0,735$ ;  $m_4 = 0,20 \div 0,67$ ;  $m_5 = 0,20 \div 0,82$ .

Из анализа экспериментальных данных следует, что заполнение полок  $\psi$  возрастает с увеличением высоты и ширины исходной заготовки и относительной высоты разрезающего гребня. Наибольшее влияние на заполнение полок оказывают параметры  $m_2$  и  $m_5$ , которые отражают влияние ширины заготовки и гребня. Усилие прокатки в равной степени зависит от всех параметров прокатки.

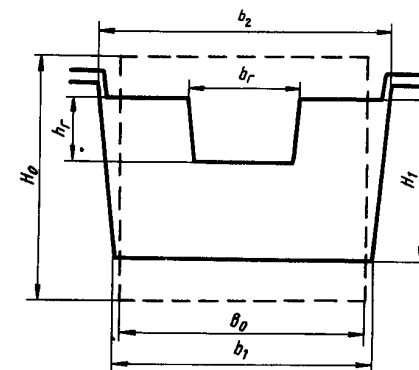


Рис. 9. Разрезной швеллерный калибр открытого типа

Анализ действующих калибровок валков, а также лабораторные и промышленные исследования [12 – 14] выявили возможность создания на станах 400 – 550 универсальной схемы прокатки, которая предусматривает совмещение возможно большего числа черновых калибров для прокатки основного сортамента стана и фасонных профилей и позволяет устранить причины, резко снижающие производительность (длительные перевалки, сложность настройки валковой арматуры, уменьшение массы заготовки и пр.).

Проведенные экспериментальные исследования по прокатке в разрезных калибрах, которые по своей геометрии практически не отличаются от чистовых калибров, показали, что по условиям формоизменения металла при прокатке П-образных профилей достаточно предусматривать два или три фасонных калибра.

При прокатке на четырехклетевом линейном стане 550 профиля ПШ-20 [12] по первоначальной калибровке в первых трех фасонных калибрах происходит интенсивное обжатие стенки с образованием полной высоты полка, а боковое обжатие полка отсутствует. В последующих двух калибрах предусмотрено только небольшое обжатие стенки и полка по высоте. Последние два калибра являются контрольными. Имеется семь фасонных калибров. Электродвигатель главного привода при прокатке был загружен по среднеквадратичному току на 44 % номинала, по максимальному току – до 40 %. Усилие прокатки по проходам составляло 50 – 70 т, т.е. загрузка основного оборудования стана колебалась в пределах 20 – 60 %. Прокатка профиля ПШ-20 была связана с большими

производственными потерями. При переходе на прокатку профиля приходилось производить перевалку 75 % общего комплекта валков стана. Затраты времени на перевалку составляли 8 – 10 ч, т.е. столько же, сколько требовалось на всю прокатку одной партии профиля.

Подобный анализ калибровок был выполнен для 30 профилей П-образной формы, прокатываемых на шести прокатных станах различных металлургических заводов, и еще раз подтвердил [12, 14], что для прокатки этих профилей вполне достаточно двух или трех фасонных калибров.

По новой калибровке профили ПШ-20 и ПШ-21А прокатывают на стане 550 только в двух фасонных калибрах (рис. 10) из заготовки сечением 140 X 140 мм.

Применение новой схемы позволило улучшить геометрию готового профиля и качество его поверхности, полностью устранив переполнение полка и их несимметричность. Вследствие упрощения конструкции валковой арматуры на поверхности профиля практически отсутствовали такие дефекты, как царапины, риски, задиры. Усилие прокатки и максимальный ток в каждом пропуске не превышали допустимых значений. Производительность стана при прокатке профилей ПШ-20 и ПШ-21А увеличилась более, чем в три раза.

На стане 400-2 по новой схеме [2, 11] для П-образных профилей ГК-017 и ГК-023 предусмотрено сокращение количества фасонных калибров с четырех до двух. Усилия при прокатке практически не изменились по сравнению с ранее применявшейся схемой, несмотря на увеличение обжатий. Это явилось следствием повышения температуры прокатки в фасонных калибрах примерно на 100°C в результате сокращения количества фасонных калибров. В то же время необходимая мощность прокатки на чистовой линии несколько увеличилась, в первую очередь при прокатке в предчистовых калибрах, но не превышала номинальной.

В то же время при калибровке П-образных профилей в зависимости от конфигурации профиля, размеров, допусков и уклонов боковых граней уменьшение количества фасонных калибров не всегда является целесообразным. В некоторых случаях следует стремиться в первую очередь не к уменьшению количества фасонных калибров, так как при этом может увеличиться трудоемкость прокатки и снизиться производительность, а к плавному формоизменению профиля в калибрах.

Профиль ПС-723-А (рис. 5, б) с боковыми выступами из нержавеющей стали был освоен [7] на пятиклетевом стане 450. Исходную заготовку сечением 100 X 100 мм предварительно подвергают сплошной наждачной зачистке.

При разработке калибровки профиля ПС-723-А форму его верхней части приняли постоянной для всех промежуточных калибров. Размеры готового профиля в горячем состоянии определяли по средним в пределах допусков размерам с учетом коэффициента термического расширения, который для стали 1Х18Н9Т равен 1,02. Для расчета калибровки профиль в горячем состоянии условно был разделен (рис. 11) на элементы, из которых некоторыми особенностями деформации отличается лишь элемент

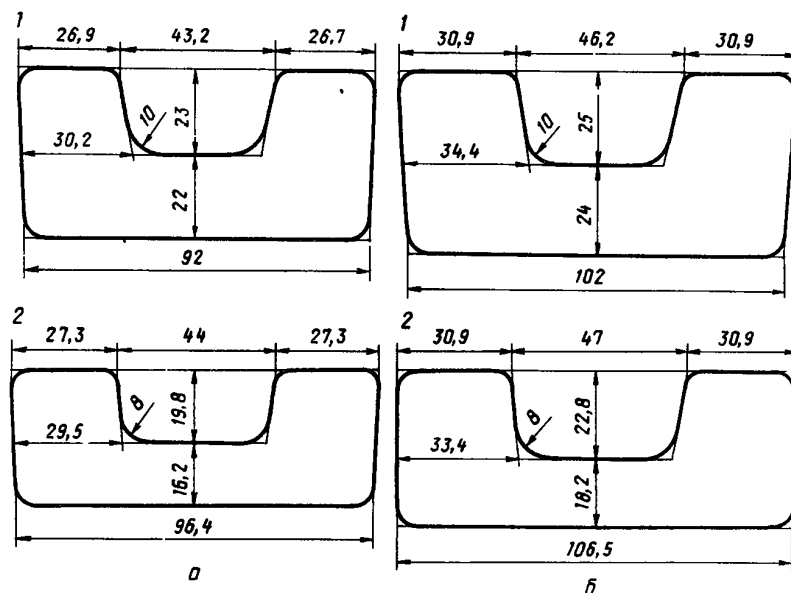


Рис. 10. Калибровка профиля:

а — ПШ-20 (исходное сечение 52 X 92 мм); б — ПШ-21А (исходное сечение 56 X 102 мм)

IV; формируемый во всех калибрах в закрытых ручьях, весьма сходных с ложными фланцами, применяемыми при прокатке швеллеров.

Прямоугольный элемент I и два четырехугольных элемента II (рис. 11) рассматривали при калибровке как симметричную изогнутую разнотолщинную полосу. Для сохранения постоянства формы верхнего контура профиля принимали постоянными для всех промежуточных калибров ширину элемента I (14,2 мм), угол наклона относительно горизонтали элементов II ( $17^{\circ}30'$ ) и координаты конструкционной точки O.

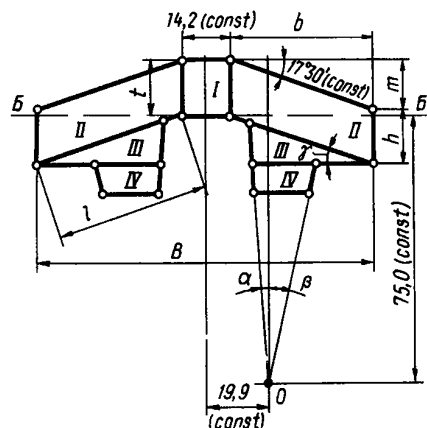


Рис. 11. Способы деления профиля ПС-723-А на элементы

Уширение во всех калибрах принимали на основании практических данных при условии отсутствия значительного стеснения в калибрах. Впоследствии, в соответствии с общей оценкой деформации в калибрах в случае необходимости осуществляли корректировку уширения с перерасчетом размеров элемента II.

Расчет размеров (см. рис. 11) элементов I и II во всех калибрах был выполнен по методике [7], приведенной ниже.

Площади  $S_I$  и  $S_{II}$  элементов I и II  $S_{In} = \lambda_{n+1} S_{I(n+1)}$ ;  $S_{IIIn} = \lambda_{n+1} S_{II(n+1)}$ , где  $\lambda$  — коэффициент вытяжки,  $n$  — номер калибра по ходу прокатки.

Высота элемента I  $t_n = S_{In} / 14,2$ , где 14,2 — постоянная ширина элемента I.

Ширина элемента II  $b_n = b_{n+1} - 0,5 \Delta B_{n+1}$ , где  $\Delta B$  — величина принятого уширения в калибре.

Средняя толщина элемента II  $d_{IIIn} = S_{IIIn} / b_n$ .

Высота элемента II с наружной стороны  $h_n = 2 d_{IIIn} - t_n$ .

Переменный угол наклона элемента II  $\gamma = \arcsin ((m_n - t_n) / l_n)$ .

Коэффициенты вытяжки в каждом калибре для всех элементов принимали одинаковыми. Положение элементов IV и примыкающих к ним элементов III определяли (см. рис. 11) с помощью конструкционной точки O с постоянными координатами. При определении размеров элементов III и IV исходным параметром является угол  $\alpha$ , который принимают из условия свободного внедрения разрезающего гребня нижнего валка в соответствующее углубление задаваемой в калибр полосы на 60 — 70 % его высоты.

Элемент III в расчете калибровки является вспомогательным, так как его размеры во всех промежуточных калибрах определяют положением элемента II и углом наклона  $\alpha$ . Вследствие этого изменение

площади элемента III по ходу расчета не соответствует принятым для каждого калибра общим коэффициентам вытяжки и является произвольным. При этом коэффициент вытяжки элемента III почти не меняется в первых проходах и значительно увеличивается в последних.

Площадь элемента III определяют совместно с элементом IV из выражения  $S_{\Sigma n} = \lambda_{n+1} S_{\Sigma(n+1)}$ ; откуда следует  $S_{IVn} = S_{\Sigma n} - S_{IIIn}$ , где  $S_{\Sigma}$  — сумма площадей элементов III и IV.

При этом в случае равенства  $\lambda$  и  $\lambda_{\Sigma}$  ( $\lambda_{\Sigma}$  — суммарный коэффициент вытяжки элементов III и IV) для какого-то калибра коэффициенты вытяжки  $\lambda_{IV}$  и  $\lambda$  оказываются неодинаковыми. Причем во всех промежуточных калибрах  $\lambda_{IV} > \lambda$ . В результате площадь элемента IV увеличивается против хода прокатки быстрее других элементов. Однако, если учесть небольшую долю элементов IV в общей площади поперечного сечения профиля и их связь с соседними элементами, то допущенное несоответствие следует считать скорее положительным, чем отрицательным фактором, так как оно надежно гарантирует выполнение элементов профиля.

Распределение высотной и поперечной деформации для элемента IV производится конструктивно подбором. Для первых по ходу расчета калибров принимали несколько большее высокое обжатие, а в последних калибрах это соотношение изменяли в сторону увеличения поперечной деформации.

Приведенные на рис. 12 размеры калибров за исключением калибров 2 и 3 полностью соответствуют расчетным. В калибрах 2 и 3 несколько уменьшили по сравнению с расчетной высоту разрезающего гребня, так как он получился слишком высоким и тонким. Размеры фасонного калибра 1, в котором происходит первоначальное формирование профиля, определяли конструктивно таким образом, чтобы из исходного сечения 84X84 мм получить надежное заполнение калибра 2.

Прокатку профиля П-образной формы из стали 35 (рис. 13), предназначенного для стоек рам электропогрузчиков и электроштабелеров, производили [17] на полунепрерывном стане 600.

С учетом большой толщины стенки и полок принят обычный способ прокатки швеллеров в калибрах с увеличенным выпуском (рис. 13). Профиль формируется в шести фасонных калибрах из полосы овального сечения 80X150 мм. При построении черновых калибров горизонтальная проекция дна ручья верхнего валка одинакова для всех калибров и равна 114,2 мм. Это обеспечивает устойчивость процесса прокатки благодаря точному центрированию полос в фасонных калибрах. Кроме того, в качестве особенности разработанной калибровки следует отметить небольшую по сравнению с обычными швеллерными калибрами высоту ложных фланцев. При этом заполнение углов профиля достигают за счет значительного стеснения уширения стенки. В чистовом калибре универсальной клетки происходит сгибание профиля без обжатия толщины стенки и полок. Для обеспечения свободного выхода полосы из валков ширина чистового калибра больше на 1,0 мм ширины стенки профиля, т.е. зазор



Рис. 14. Калибровка профиля для полюсов рельсового тормоза (исходное сечение 16С х 320 мм)

28

При разработке калибровки профиля ТРМ-5 был предложен способ его прокатки в сдвоенном виде (рис. 14). Для обеспечения точности разрезки готового профиля на две части в месте сдваивания предусматривали двусторонний желоб со стенкой толщиной 17 мм. Исходную полосу для первого фасонного калибра сечением 170×320 мм прокатывают за семь проходов на обжимной клети 950 из заготовки 330×420 мм. Правку профиля осуществляют только в вертикальном направлении.

На рис. 15 приведено расположение оборудования четырехклетового непрерывного стана 300, предназначенного для прокатки в прутках широкого сортамента профилей сложной конфигурации сечением от 300 до 2000 мм<sup>2</sup> и длиной до 7 м; клетки — бесстанинного типа, длина бочки валков 200 мм, мощность привода 125 кВт, клеть III является комбинированной. Допускаемое усилие прокатки 75 т. Скорость прокатки 0,4 — 1,2 м/с. Стан оборудован задающим устройством роликового типа, позволяющим вести прокатку в клетях I с углами захвата до 40°. Заготовки применяют круглой, прямоугольной и квадратной формы сечением от 650 до 4000 мм<sup>2</sup> и длиной 2 — 3 м.

При выборе рациональной схемы калибровки для данного стана разработаны следующие основные положения и требования [19]:

- 
- Металл
- 1 2 3 4 4 5 4 6 7 8

29

2. Прокатка с минимальным суммарным коэффициентом вытяжки в целях уменьшения количества проходов, минимизации энергозатрат и устойчивости процесса прокатки.

3. Универсальность калибров для прокатки максимально возможного сортамента.

4. Максимальная производительность стана при использовании заготовок номинального сечения.

5. Возможно лучшее удаление окалины с поверхности раската.

6. Рациональное расположение и компоновка калибров с учетом удобства передачи раскатов из клетки в клеть.

7. Самоцентрирование заготовки в первом фасонном калибре.

8. Минимальная неравномерность деформации по ширине профиля и его элементам в предчистовом и чистовом калибрах.

9. Прокатка с определенным верхним давлением для упрощения конструкции и работы валковой арматуры.

10. Максимально возможное использование ширины бочки валков.

Эти положения были использованы при разработке методики калибровки профилей П-образной формы.

По принятой схеме прокатки в первом разрезном калибре формируются стенка и полки профиля. Во избежание разнотолщинности и разнотолщинности полок калибры проектируют открытого типа с ограниченным уширением (исключение составляет контрольный калибр 3) и со степенью заполнения, приблизительно равной единице  $S_n / S_k \approx 1$ , где  $S_n$  — площадь сечения полосы в калибре;  $S_k$  — площадь калибра.

В калибре 2 в результате бокового обжатия происходит основное формирование конфигурации полок. В контрольном калибре 3 полузакрытого типа осуществляют контроль полок по их высоте и деформация внутренних углов концов полок, предотвращая тем самым переполнение чистового калибра в месте разъема полок. Расчет калибровки ведут в следующей последовательности:

1. Исходя из размеров точного холоднокатаного профиля определяют размеры подката  $h$ ,  $b$  и  $t$  (рис. 16) в чистовой клетке с учетом коэффициента термического расширения ( $\alpha_t = 1,013 \div 1,015$ ) и прокатки профиля на минус.

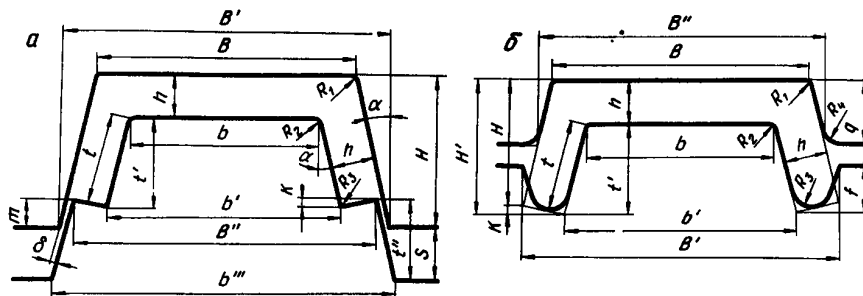


Рис. 16. Открытый а и полузакрытый б калибры для прокатки профилей П-образной формы

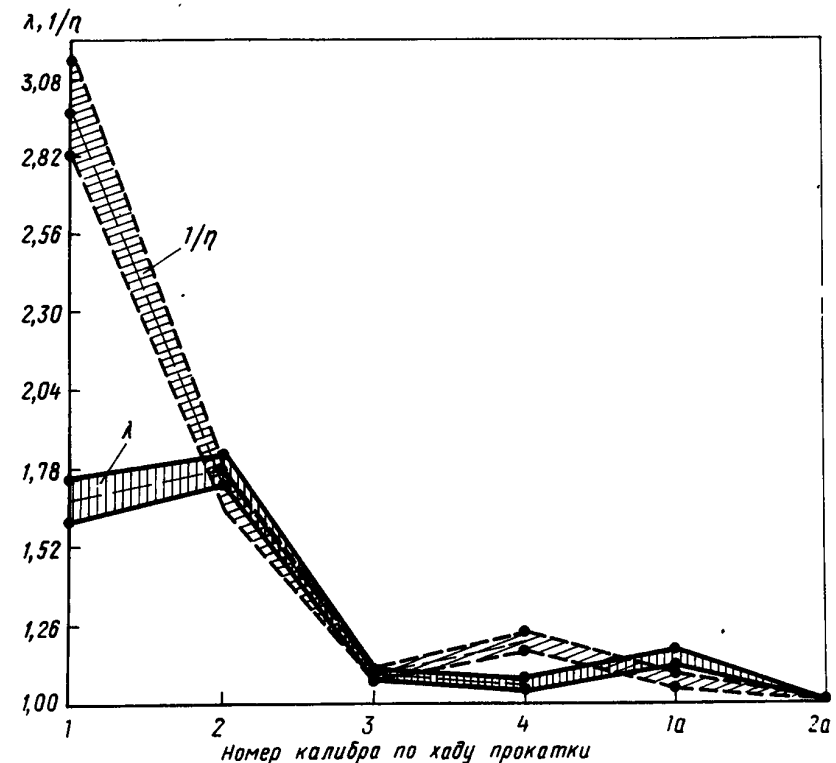


Рис. 17. График изменения по проходам коэффициента вытяжки  $\lambda$  и коэффициента обжатия  $1/\eta$

2. Ввиду того, что профили П-образной формы, прокатываемые на стане 300, имеют обычно малое поле допусков по внутренним элементам (например, для профиля № 377/1 допуск на размеры  $t$  и  $b$  составляет  $\pm 0,3$  мм), то за базовые расчетные величины принимают внутреннюю высоту полок  $t$ , расстояние между полками  $b$ , толщину стенки и полки  $h$  и угол наклона  $\alpha$  наружных граней полок. Угол наклона  $\alpha$  уменьшается по ходу прокатки и для калибров 1 — 4 стана 300 и для калибров 1а и 2а при холодной прокатке равен соответственно:  $26^\circ$ ;  $12^\circ$ ;  $12^\circ 30'$ ;  $8^\circ 30'$ ;  $6^\circ$  и  $0^\circ$ . Ширину профиля  $B$  принимают постоянной для калибров 1, 2 и 3.

3. Диаметр исходной заготовки  $d$  определяют по формуле  $d = \sqrt{\lambda_{\Sigma} S'_n k}$ , где  $\lambda_{\Sigma}$  — общий (суммарный) коэффициент вытяжки, который вычисляют на основании практических данных как произведение коэффициентов вытяжек по проходам (рис. 17);  $S'_n$  — площадь сечения полосы в чистовой (четвертой) клетке;  $k = 1,12 \div 1,15$  — коэффициент, учитывающий неравномерность деформации и наклон полок.

4. Определяют суммарный коэффициент обжатия стенки  $1/\eta_{\Sigma}$  по формуле  $1/\eta_{\Sigma} = d/h_4$ , где  $d$  — диаметр исходной заготовки;  $h_4$  — толщина стенки и полок в чистовом калибре.

Суммарный коэффициент обжатия равен произведению коэффициентов обжатия по калибрам 1–4:  $1/\eta_{\Sigma}^c = 1/\eta_1^c \cdot 1/\eta_2^c \cdot 1/\eta_3^c \times 1/\eta_4^c$ .

При этом характер распределения частных коэффициентов обжатия по проходам должен соответствовать рис. 17.

5. На основании принятых коэффициентов обжатия рассчитывают толщину стенки  $h_{i-1}^c$  и полок  $h_{i-1}^n$  по проходам  $h_{i-1}^c = h_i^c (1/\eta_i^c)$ ,  $h_{i-1}^n = h_i^n (1/\eta_i^n)$ , где  $i = 2, 3, 4$  – номер калибра по ходу прокатки.

6. Определяют высоту полки  $t_i$  по проходам  $t_3 = t_4 + (0,2 \pm 0,5)$ ,  $t_2 = t_3 + (1,3 \pm 1,5)$ ,  $t_1 = t_2 + \Delta h_{1k} = t_2 + 0,54 (\Delta h_1/h_1) \sqrt{R_{k1} \Delta h_1}$ .

Конструкцию стенки калибра клетки I выполняют таким образом, чтобы исходная заготовка круглого сечения самоцентрировалась в четырех точках.

7. Проверяют угол захвата  $\alpha_{зах}$  металла валками в калибре 1:  $\alpha_{зах} = 57,3 \sqrt{\Delta h_1/R_{k1}} \leq [\alpha_{зах}]$ .

Предельный угол захвата  $[\alpha_{зах}]$  при наличии заталкивающего устройства перед клетью I можно принять не более  $40^\circ$ .

Для упрощения расчетов геометрических размеров калибров по клетям разработана методика их построения [19], которая проверена на практике. По данной методике калибры 2 и 4 имеют одинаковую геометрическую форму и расчет их абсолютно идентичен. Размеры полузакрытого калибра 3 и фасонного калибра 1 определяют отдельно. Расчет калибров 4 и 2 (рис. 16, а) производят следующим образом.

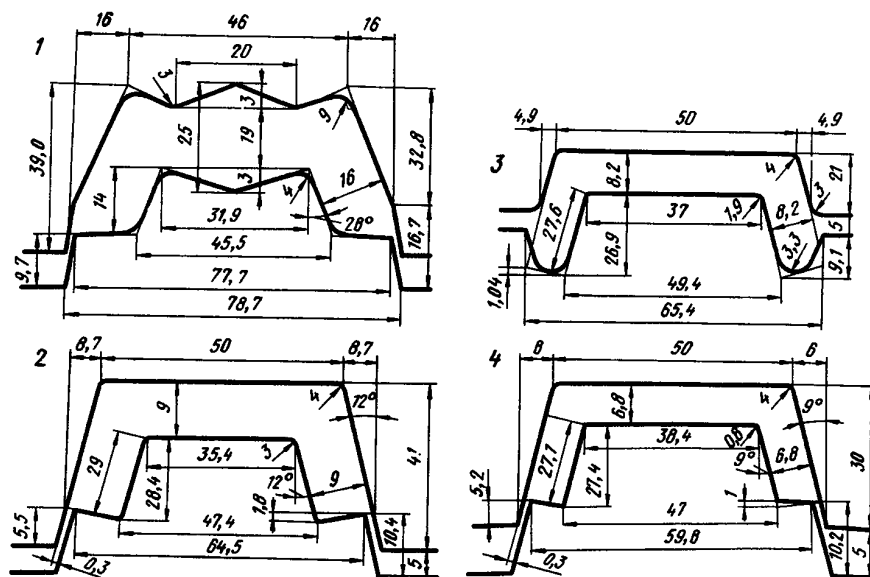


Рис. 18. Калибровка горячекатаного подката профиля для направляющих рентгеновских аппаратов

Исходные данные для расчета:  $h, t, \alpha, B_4 = B_2 = \text{const}, t' = h \cos \alpha$ ,  $b = B - (2h/\cos \alpha) (1 - \sin \alpha)$ ,  $b' = b + 2t \sin \alpha$ .

Далее конструктивно задаются значениями  $\delta, m$  и  $s$ . При этом  $\delta = f(\alpha)$  и с увеличением угла наклона полки  $\alpha$  увеличивается и  $\delta$ . Средние значения следующие:  $\delta = 0,2 \div 0,4$ ;  $s = 3 \div 6$  мм.

Величину зазора  $s$  для всех калибров определяют из выражения  $s = (0,01 \div 0,02) D_{\text{ном}}$ , где  $D_{\text{ном}}$  – номинальный диаметр валков.

Для остальных размеров имеем:  $H = t \cos \alpha + h(1 - \sin \alpha) + m$ ,  $k = (h - \delta) \sin \alpha$ ,  $t'' = (m + s) - \delta \sin \alpha$ ,  $b'' = 2 \cos \alpha (h - \delta) + b'$ ,  $b''' = 2t'' \tan \alpha + b''$ ,  $B' = B + 2H \tan \alpha$ .

Расчет ребрового калибра 3 аналогичен расчету калибров 4 и 2.

При этом дополнительно определяют следующие размеры (см. рис. 16, б):  $H = t \cos \alpha + h(1 - \sin \alpha)$ ,  $B' = B + 2H \tan \alpha$ ,  $k = h \sin \alpha$ ,  $R = 0,4h$ ,  $H' = t' + h$ ,  $f = (0,26 \div 0,28) H'$ ,  $q = H' - (f + s)$ ,  $B''' = B + 2q \tan \alpha$ ,  $R_n = 3 \div 5$  мм.

Размеры фасонного калибра 1, в котором производится первоначальное формирования профиля, определяют из приведенных выше соотношений и конструктивных соображений. Форму и размеры ложных фланцев намечают также конструктивно, как и радиусы закруглений  $R_1$  и  $R_2$ .

При этом принимают  $R_1^i = R_1^{i-1} = R_1^{i-2} = R_1^{i-3} + (4 \div 6)$  мм,  $R_2 = 1 \div 2$  мм,  $R_2^{i-1} = 2R_2^i$ ,  $R_2^{i-2} = 2R_2^{i-1}$ ,  $R_2^{i-3} = 1,3R_2^{i-2}$ , где  $i = 4$  – номер чистового калибра по ходу прокатки.

Калибровка профиля для направляющих рентгеновских аппаратов на стане 300, рассчитанная по разработанной методике, приведена на рис. 18. Наличие уклонов и утолщения стенки в калибре 1 необходимо для самоцентрирования заготовки круглого сечения в калибре 1. Поднутрение полки у их основания приняты конструктивно. Аналогично были рассчитаны калибровки других П-образных профилей, которые также освоены на стане 300.

Для производства профиля П-образной формы (рис. 19) с чистотой поверхности по пятому классу точности (ГОСТ 1051 – 73, группа В) на одном из металлургических заводов применена технология, включающая горячую и холодную прокатку. Холодная прокатка предусматривает формирование профиля за четыре прохода. При этом после каждого прохода производят отжиг, травление и промывку.

Для сокращения трудозатрат и повышения эффективности производства была разработана и испытана на полупромышленном стане 300 новая технология, которая заключается в получении горячекатаного подката повышенной точности и последующей холодной прокатки или волочения за один проход.

Калибровка горячекатаного подката (рис. 19) освоена на полупромышленном стане 300. Диаметр исходной заготовки равен 38 мм. Основное формоизменение производится в калибрах 1 и 2. Калибр 4 – полу-

закрытого типа и предназначен для контроля высоты полок. Окончательное формирование подката с подгибкой полок осуществляется в четырех-валковом калибре с использованием кассеты с вертикальными непривод-

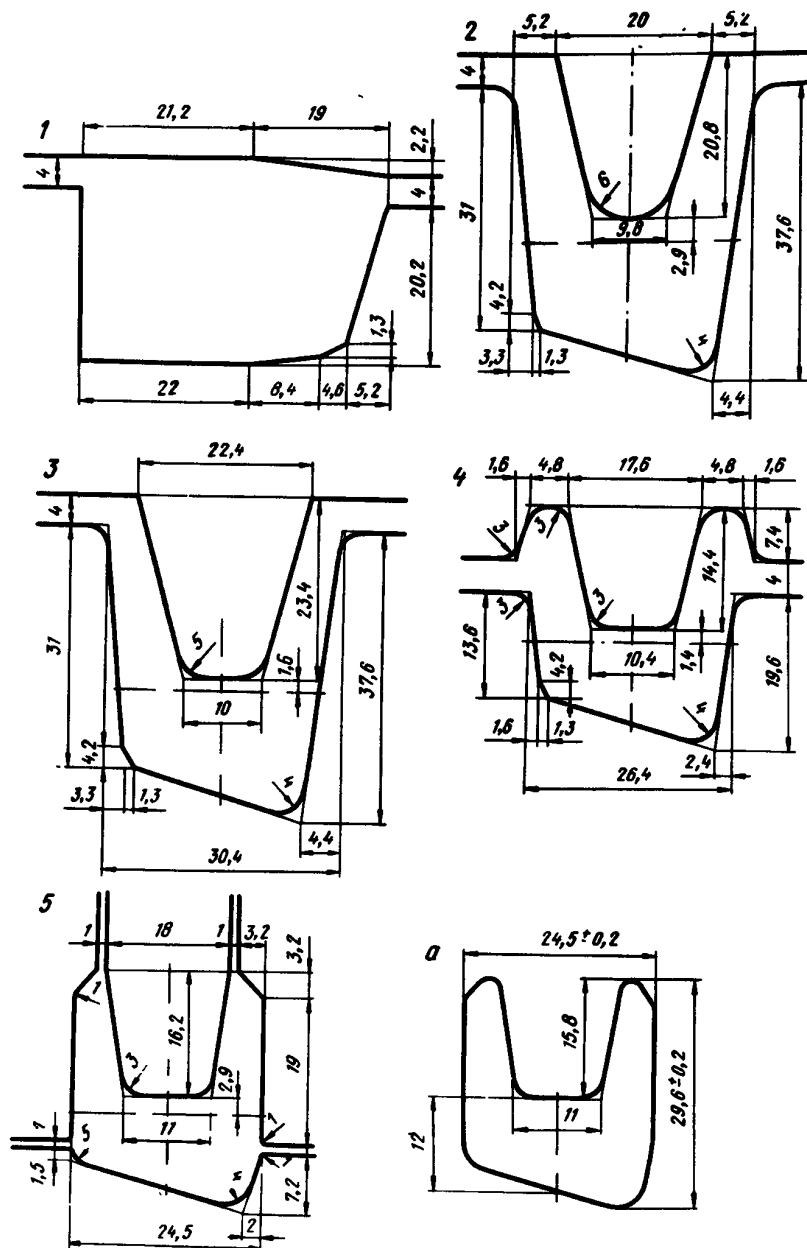


Рис. 19. Калибровка профиля П-образной формы 29,6Х24,5 мм (исходное сечения — круг 38 мм; а — готовый профиль)

ными роликами. Коэффициенты вытяжки по проходам соответственно равны: 1,25; 1,35; 1,13; 1,05 и 1,18. При опытной прокатке профиль получен в соответствии с техническими условиями.

#### ПРОКАТКА ПРОФИЛЕЙ ДЛЯ УГОЛЬНЫХ КОНВЕЙЕРОВ И ШАХТНЫХ СТОЕК

Профили для боковин решеток скребковых конвейеров и для шахтных стоек по технологической классификации относятся [2] к классу профилей швеллерной (П-образной формы). Для этих профилей отношение высоты полок к высоте профиля, а также толщины полок и стенки изменяются в довольно широких пределах. Профили могут быть как симметричными относительно вертикальной оси, так и асимметричными.

Профили СП-63 и СП-202 для боковины решеток шахтных конвейеров несимметричны относительно вертикальной оси (разность по высоте полок составляет соответственно 42 и 35 мм). Вследствие этого применение при их прокатке швеллерных калибров с увеличенным выпуском создает значительные осевые усилия при прокатке и является причиной "серпения" и скручивания полос. Стойкость выводной арматуры в этих условиях резко уменьшается. К тому же теряется много времени на настройку и замену валковой арматуры. Для компенсации осевых усилий на валках приходится предусматривать опорные конусы [20, 21].

Калибровка и прокатка профилей для боковины решеток по развернутому способу не имеет перечисленных выше недостатков. Методика расчета калибровки по способу постепенного сгибания наиболее подробно разработана в литературе [22, 23] и предусматривает, во-первых, равенство коэффициентов вытяжки по элементам профиля, во-вторых, расчет переходных сечений профиля по средним линиям калибров.

Практические наблюдения показывают [24], что приращение в промежуточных калибрах высоты полок, имеющих криволинейную форму и различный наклон к оси валков, находится для станков 600 — 650 в пределах от 0,5 до 2,5 мм и применительно к данному профилю в большей степени зависит от величины обжатия, чем от разности скоростей между стенкой и полками. Если концы полок расположены параллельно оси валков, то приращение их высоты обычно определяют по формулам уширения для прокатки полос в гладких валках. Уширение стенки зависит в первую очередь от величины обжатия и определяется условиями свободного входа полосы в калибр. Так как в черновых калибрах вследствие изогнутой и достаточно толстой стенки не возникает больших давлений на бурты, то уширение стенки можно принимать в пределах, рекомендуемых при расчете калибровок двутавровых балок и швеллеров.

Расчет калибровки профиля боковины решетки СП-63 для крупно-сортного стана 650 приведен в работах [23, 24]. Количество фасонных калибров равно восьми, причем фасонный калибр 1, в котором производится первоначальное формирование профиля, расположен в валках реверсивной обжимной клетки 800.

Длительный опыт прокатки профиля СП-63 позволил выявить недостатки его калибровки и технологий, которые в основном сводятся к следующему:

1. Высота большой полки колеблется по длине раската, так как ее прокатывают в калибрах со свободным уширением.

2. В предчистовом и чистовом калибрах наблюдается значительный и неравномерный износ.

3. Глубокий врез длинной полки чистовой клетки обуславливает частые поломки верхнего валка.

С учетом опыта прокатки профиля СП-63 была разработана [25] калибровка нового профиля боковины рештака СП-202 (рис. 20) из стали 30Г на стане 650. Исходная заготовка имела сечение 230 X 280 мм; размеры и форма калибров 1 и 2 выбраны конструктивно. Первоначально профиль формируется в развернутых калибрах, обеспечивающих значительную степень деформации и небольшие осевые усилия.

Особенностью калибровки нового профиля СП-202 в отличие от СП-63 является более постепенное сгибание полок от развернутых черновых калибров до чистового. Калибры 3 и 4 спроектированы с ограниченным уширением полок. В калибре 8 полузакрытого типа осуществляется контроль высоты полок. При расчете калибровки принято равенство коэффициентов вытяжки по участкам профиля. Равенство коэффициентов

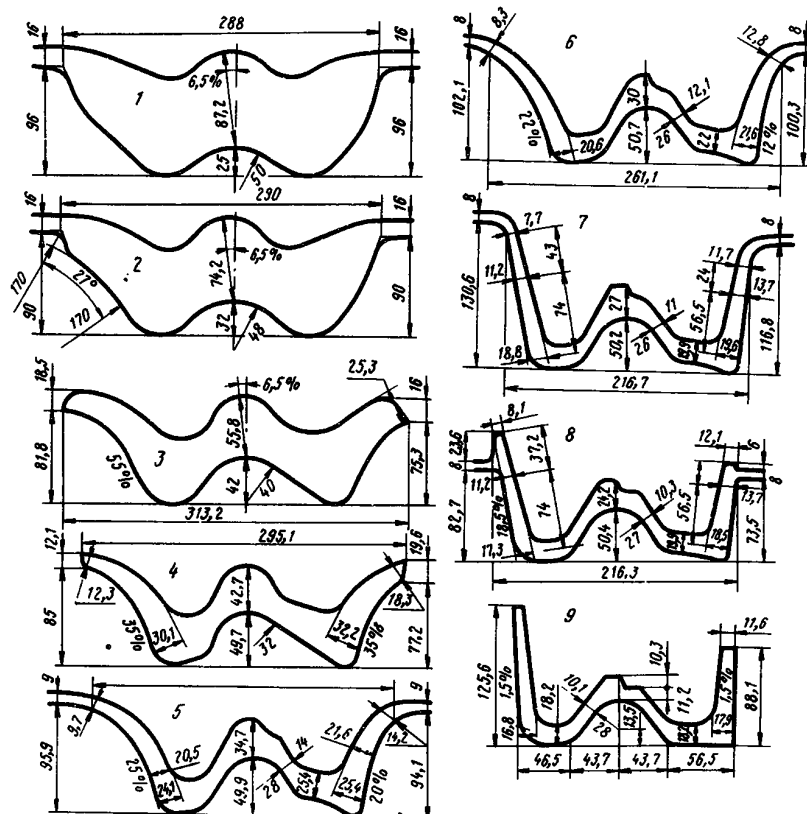


Рис. 20. Калибровка профиля боковины рештака СП-202

тов вытяжки по обе стороны вертикальной оси профиля в каждом калибре обеспечивает прямолинейность выхода полосы из валков. Для надежного формирования выступа стенки коэффициенты обжатия выступа увеличены в последних по ходу прокатки калибрах. Чтобы уменьшить износ валков и предотвратить их поломки, пересмотрен в сторону уменьшения режим обжатия в калибрах 6, 7, 8 и 9, особенно в калибрах 7 и 9, где имеются глубокие врезы.

Разработанная калибровка профиля СП-202 при первой опытной прокатке внедрена в производство. Профиль был получен в соответствии с техническими условиями. В первую кампанию прокатано 200 т готового профиля, после корректировки калибровки — 700 т. Выход первого сорта составил 99,4 %. Масса на 1 м длины профиля была ниже номинальной на 6 — 8 %.

Профиль боковины рештака СП-2 из стали 30Г (рис. 21, а) был освоен [26] на линейном трехклетевом стане 550. Профиль представляет собой модификацию сечения корытного типа и его получают из заготовки сечением 114 X 146 мм за одиннадцать пропусков, из которых первые четыре — в ящичных калибрах.

Сравнительно большая высота полок и незначительный уклон внешней грани одной из них обуславливает выбор схемы прокатки в развернутых калибрах. Для расчета коэффициентов деформации сечения профиля условно разделили на четыре элемента: стенку (включая наклонные участки), левую и правую полки и выступ. В основу расчета калибровки (см. рис. 21) положено возможно более равномерное распределение обжатий по толщине этих элементов. Соблюдение равенства коэффициентов деформации по сечению вызвано также необходимостью надежного формирования выступа профиля, которое вследствие незначительной площади выступа зависит от характера течения металла в смежном элементе, т.е. в полке. Для обеспечения формирования концов полок и выступа коэффициенты обжатия в них несколько увеличены.

По разработанной калибровке профиль боковины рештака первоначально формируется в развернутых калибрах, обеспечивающих более интенсивную деформацию полок благодаря прямому давлению. Вследствие большой высоты полок при сравнительно малой ширине профиля разность развернутых и чистового калибров по ширине довольно велика. Ширина раскатов, задаваемых в калибры 9, 10 и 11, значительно больше ширины соответствующих калибров. И естественно, что изменение формы сечения полосы только спрямлением полок не обеспечило бы нормального входа полосы в калибр и удовлетворительного качества поверхности наружных граней полок. Поэтому в трех последних по ходу прокатки калибрах предусмотрено постепенное уменьшение угла между прямыми и скошенными участками стенки.

Поскольку в первый момент задачи полоса с валками контактирует по стенке, то путем сгибания полосы уменьшается уклон полок до входа их в очаг деформации. Развернутые калибры практически имеют одинаковую ширину и приращение длины средней линии компенсируется уве-

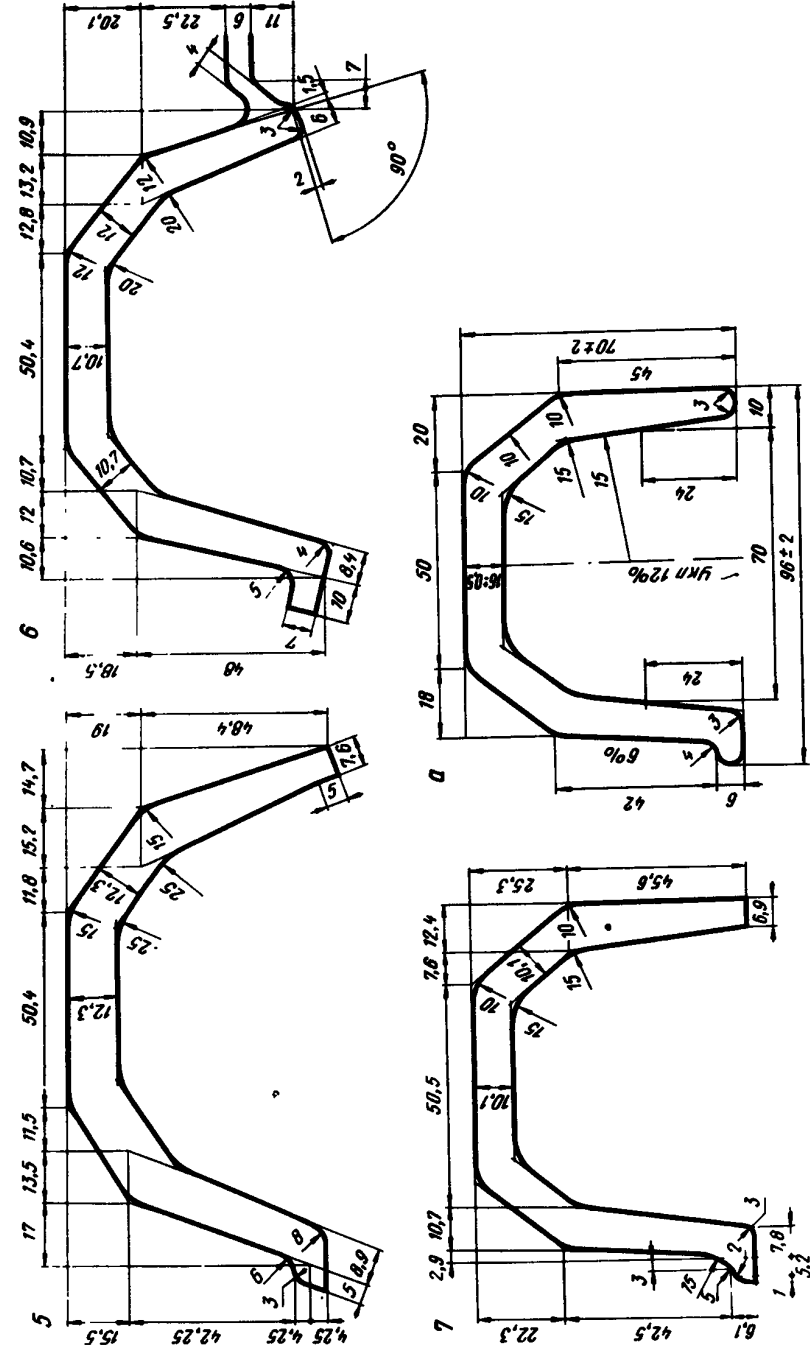
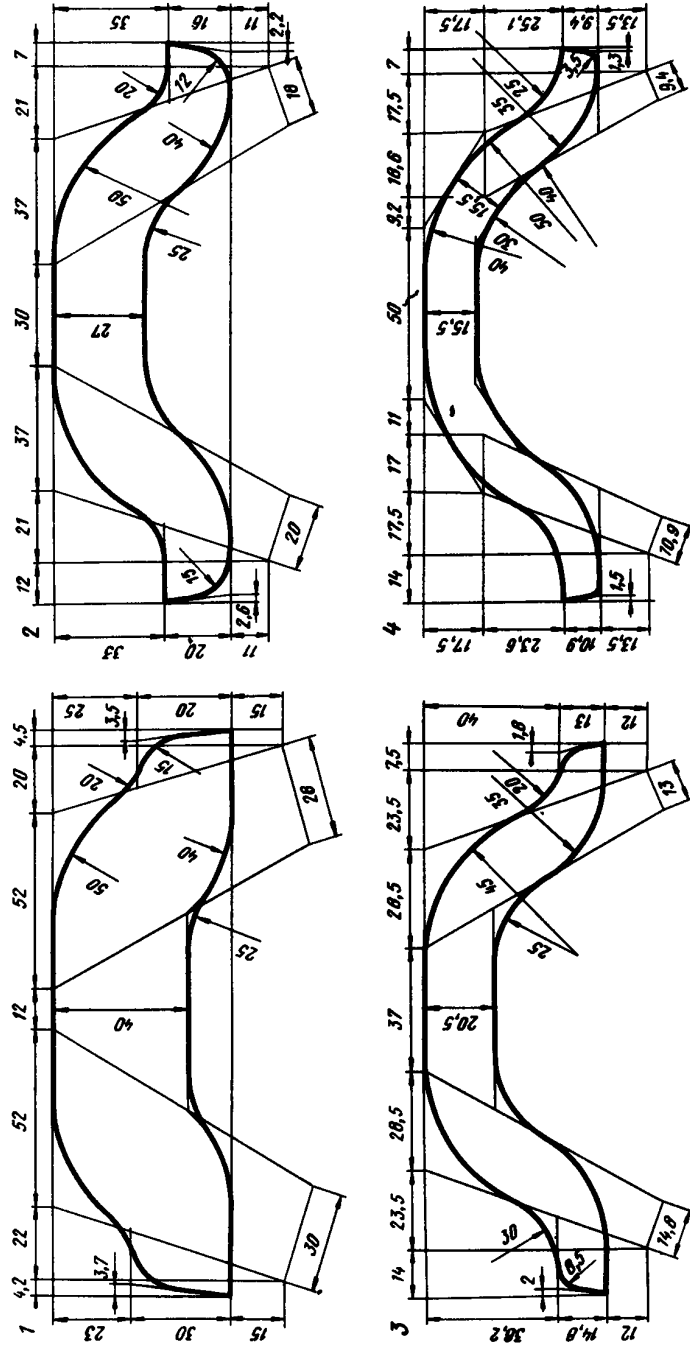


Рис. 21. Калибровка профиля боковины решетки СП-2 (исходное сечение 55X158 мм ; а — готовый профиль)

личением их глубины. Конструктивно калибры построены таким образом, что их высота в основном остается постоянной.

Опыт прокатки профилей для шахтных стоек с выступами стенки и полок описан в работах [27, 28].

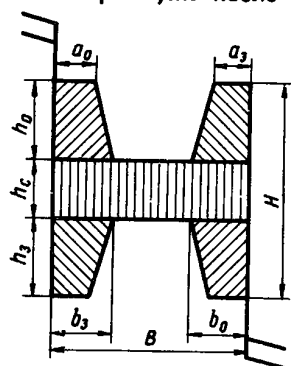
#### ПРОКАТКА ПРОФИЛЕЙ БАЛОЧНОГО ТИПА

Сортамент профилей балочного типа включает [2] три технологические группы: с двумя осями симметрии, с вертикальной осью симметрии и с горизонтальной осью симметрии. Характерной особенностью прокатки данных профилей является резко выраженная неравномерность деформации при формировании профиля из заготовки прямоугольного поперечного сечения (обычно в первых двух — трех проходах). Дальнейшую прокатку ведут в прямых или косорасположенных балочных калибрах.

Прямые балочные калибры получили наибольшее распространение при прокатке двутавровых балок любых размеров, и в первую очередь, средних и крупных. Эти калибры используют значительно реже и в основном при прокатке балок небольших размеров.

Двутавровые профили  $23 \times 19 \times 7$  мм и  $26 \times 23 \times 8$  мм для реек домкратов легковых автомобилей прокатывают [29] из стали 45 на мелкосортном линейном стане 250.

Ввиду незначительного общего допуска по ширине профиля (всего лишь 1 мм) прокатка этих профилей с уклоном наружных граней полок является целесообразной. Действительно, если в чистовом калибре балочного типа принять для профиля  $26 \times 23 \times 8$  мм наружный уклон полок 0,8 — 1,0 % (что вообще-то необходимо для беспрепятственного выхода полосы из валков), то допускаемое отклонение по ширине сократится до 0,58 — 0,48 мм, т.е. почти вдвое, и валки выйдут из строя по ширине калибров уже после одной — двух переточек. Тем более неприемлемо



увеличение уклона наружных граней полок до 6 — 10 % и более, успешно применяемое при прокатке для двутавровых балок обычного сортамента. Защемление полок в закрытых частях калибров может привести к оковыванию, а в отдельных случаях и к поломкам валков. Кроме того, получающийся при применении обычных балочных калибров уклон наружных граней полок значительно ухудшает условия работы реечных домкратов.

Рис. 22. Схема условного деления профиля рейки домкрата на отдельные элементы

Вследствие этого была принята [29] схема прокатки с косорасположенными балочными калибрами, обеспечивающими полную восстанавливаемость ширины калибров при переточках и полное отсутствие нежелательного уклона наружных граней полок.

Опыт прокатки аналогичных по форме профилей (например, шиповой стали № 6, № 8 и т.п.) показывает [30], что для получения профиля рейки

домкрата вполне достаточно трех косорасположенных балочных калибров.

Для упрощения расчета калибровки принимают в соответствии с работой [3] условное деление профиля на элементы, как показано на рис. 22. В тех случаях, когда по известным размерам одного калибра определяют по ходу расчета размеры последующего, то их обозначают теми же буквами, но со штрихом.

Расчет калибровки производят при условии равенства коэффициентов вытяжки для отдельных элементов профиля. Приращение высоты открытых полок и боковое обжатие закрытых полок не предусматривают. Уширение стенки определяют по формуле (1). В чистовом калибре принимают свободное уширение, а в предчистовом уширение составляет 0,7 от свободного.

На основании практических данных коэффициенты вытяжки равны:  $\lambda_5 = 1,12$ ;  $\lambda_4 = 1,33$ . Расчет ведут в следующей последовательности.

**Клеть V (чистовая).** Размеры этого калибра определяют с учетом допусков и коэффициента термического расширения, равного 1,013. Толщину открытых полок и ширину чистового калибра уменьшают на 0,2 мм для компенсации осевого смещения, неизбежного для первой постановки новых валков вследствие имеющихся неплотностей в опорных конусах. Размеры по высоте полок и толщине стенки округляют везде до 0,5 мм. Для калибра клетки V (рис. 22):  $B = 25,8$  мм;  $h_0 = h_3 = 7,5$  мм;  $h_c = 8,0$  мм;  $a_0 = a_3 = 5,0$  мм,  $b_0 = b_3 = 7,4$  мм.

Площади открытой полки  $S_0$ , закрытой полки  $S_3$  и стенки  $S_c$  равны:  $S_0 = S_3 = [(a_0 - b_0)/2]h_0 = [(5,0 + 7,4)/2]7,5 = 46,5 \text{ мм}^2$ ;  $S_c = Bh_c = 25,8 \cdot 8,0 = 206,4 \approx 206 \text{ мм}^2$ .

Клеть IV ( $\lambda_5 = 1,12$ ). Площадь стенки  $S'_c = Bh_c = 206 \cdot 1,12 = 230,72 \approx 231 \text{ мм}^2$ .

Чтобы найти уширение стенки вначале определяют без учета уширения толщину стенки в клетке IV:  $h'_c \approx h_c \lambda_5 = 8,0 \cdot 1,12 = 8,96$  мм. Тогда  $\Delta B_5 = 0,6$  мм. Таким образом, в клетке IV  $B' = B - \Delta B_5 = 25,8 - 0,6 = 25,2$  мм.

Площадь стенки и ее толщина  $S'_c = S_c \lambda_5 = 206 \cdot 1,12 = 231,72 \text{ мм}^2$ ,  $h'_c = S'_c/B' = 232/25,2 = 9,2 \approx 9,0$  мм.

Для закрытой полки  $S'_3 = S_0 \lambda_5 = 46,5 \cdot 1,12 = 52 \text{ мм}^2$ ;  $h'_3 = h_0 = 7,5$  мм.

Тогда  $S'_3 = [(a'_3 + b'_3)/2]h'_3$ ;  $a'_3 + b'_3 = [(2 \cdot 52)/7,5] = 13,9$  мм. Принимаем  $a'_3 = 5,6$  мм;  $b'_3 = 8,3$  мм.

Для открытой полки  $S'_0 = S'_3 = 52 \text{ мм}^2$ .

На основании размеров калибров клетки V полагаем для клетки IV  $a'_0 = 4,7$  мм;  $b'_0 = 7,2$  мм.

Тогда  $h'_0 = 2S'_0/(a'_0 + b'_0) = (2 \cdot 52)/(4,7 + 7,2) = 8,7 \approx 9,0$  мм.

**Клеть III ( $\lambda_4 = 1,33$ ).**

Площадь стенки  $S'_c = S_c \lambda_4 = 232 \cdot 1,33 = 307 \text{ мм}^2$ ; толщина стенки без учета уширения  $h'_c = h_c \lambda_4 = 9,0 \cdot 1,33 = 12,5$  мм; ушире-

ние с учетом стеснения  $\Delta B_4 = 0,8$  мм; ширина стенки  $B' = B - \Delta B_4 = 25,2 - 0,8 = 24,4$  мм; площадь и толщина стенки  $S'_c = S_c \lambda_4 = 232 \cdot 1,33 = 309$  мм<sup>2</sup>;  $h_c = S'_c / B' = 309 / 24,4 = 12,7 \approx 12,5$  мм.

Размеры закрытых полок  $S'_3 = S_o \lambda_4 = 52 \cdot 1,33 = 69,2$  мм<sup>2</sup>;  $h'_3 = h_o = 9,0$  мм;  $a'_3 + b'_3 = 2 S'_3 / h'_3 = (2 \cdot 69,2) / 9,0 = 15,3$  мм.

Принимаем с учетом размеров открытой полки калибра клетки IV  $a'_3 = 5,9$  мм;  $b'_3 = 9,4$  мм.

Площади открытых полок  $S'_o = S'_3 = 69,2$  мм<sup>2</sup>.

Принимаем  $a'_o = 5,4$  мм;  $b'_o = 8,2$  мм, тогда  $h'_o = [2 S'_o / (a'_o + b'_o)] = (2 \cdot 69,2) / [5,4 + 8,2] = 10,2 \approx 10,0$  мм.

Размеры шаблонов косорасположенных балочных калибров для прокатки рейки домкрата 26×23×8 мм приведены на рис. 23. Вершины гребней разрезного калибра клетки III должны иметь закругления (на рис. 23  $R = 2$  мм) иначе на готовом профиле посередине стенки остаются необжатые полоски металла вследствие повышенного обжатия стенки в клетке IV, приводящей к утяжке средней части стенки. Остальные радиусы закруглений выбирают конструктивно. Для открытых полок клеток III и IV предусмотрено свободное уширение.

В чистовой клетке уширение открытых полок ограничено и возможно небольшое обжатие их высоты. Этим частично контролируют общую высоту полок готового профиля. На основании опытной прокатки высота

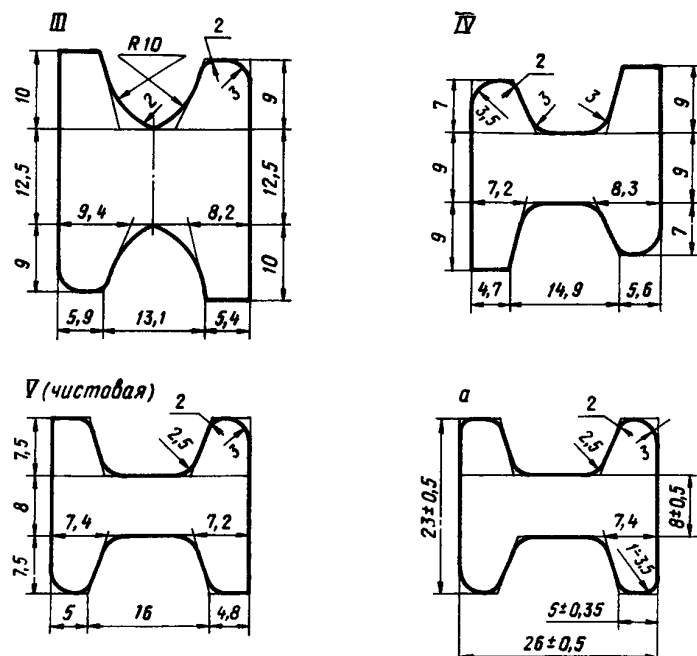


Рис. 23. Размеры калибров для прокатки профиля рейки домкрата 26×23×8 мм III – V – клетки (а – готовый профиль)

закрытых полок в клетке IV была откорректирована с уменьшением их до 7,0 мм. Наклон калибров и опорных конусов принят в клетях III – V равным 8 %.

По принятой схеме прокатки в разрезной калибр клетки III задают после прокатки в гладких валках полосу прямоугольного сечения с вогнутыми боковыми гранями, которые формируются в квадратном калибре клетки I. Вогнутость граней квадратного калибра, а соответственно и раската в клетке II, предусмотрена для улучшения захвата в разрезном калибре клетки III.

При прокатке профиля для рейки домкрата в ряде случаев на готовом профиле стенка профиля была не перпендикулярной боковым граням полок. Проверка выводной валковой арматуры не выявила нарушений технологии. При анализе размеров темплетов оказалось, что причина заключается в значительных (повышенных по сравнению с расчетными) коэффициентах деформации закрытых полок профиля в чистовом калибре при уменьшенном обжатии стенки. При таком распределении коэффициентов деформации в результате перемещения металла из закрытых полок в открытые получается незаполнение стенки профиля у основания закрытых полок, что приводит к наклону ее относительно боковых граней полок. При нормальном обжатии стенки такой наклон не образуется.

Скручивание полос в косорасположенных балочных калибрах не происходит и поэтому в случае необходимости может быть увеличен угол наклона калибров и опорных конусов.

При прокатке профиля 26×23×8 мм для рейки домкрата износ калибров был наибольшим на участках наружных боковых граней полок, расположенных против стенок, и несколько меньше на участках гребней разрезного калибра. Для валков с пониженной твердостью поверхности быстро изнашиваются участки валков, соответствующие открытым полкам.

Кроме профиля 26×23×8 мм на стане 250 был освоен по аналогичной схеме профиль 23×19×7 мм для рейки домкрата и профиль для подковных шипов [30].

Представляет интерес прокатка на девятиклетевом стане 500 усиленного двутаврового профиля из стали Ст6 (рис. 24, а) для сельскохозяйственного машиностроения [31] из заготовки сечением 150×150 мм в пяти ящичных и четырех фасонных балочных калибрах. На концах полок при этом получалось значительное незаполнение. В разрезном калибре клетки VI наблюдали плохой захват полос.

При корректировке калибровки предусмотрели дополнительный разрезной калибр в клетке V. Такое увеличение числа фасонных калибров улучшило качество профиля, но создало неблагоприятные условия работы для калибров клетки V, в котором происходило постоянное защемление полос и вследствие этого поломка проводков. Для устранения этих недостатков изменили схему прокатки. Разрезной калибр сделали закрытым и перенесли в клетку IV, а в клетке V осуществляли только осадку по ширине профиля (рис. 24). В результате появилась возмож-

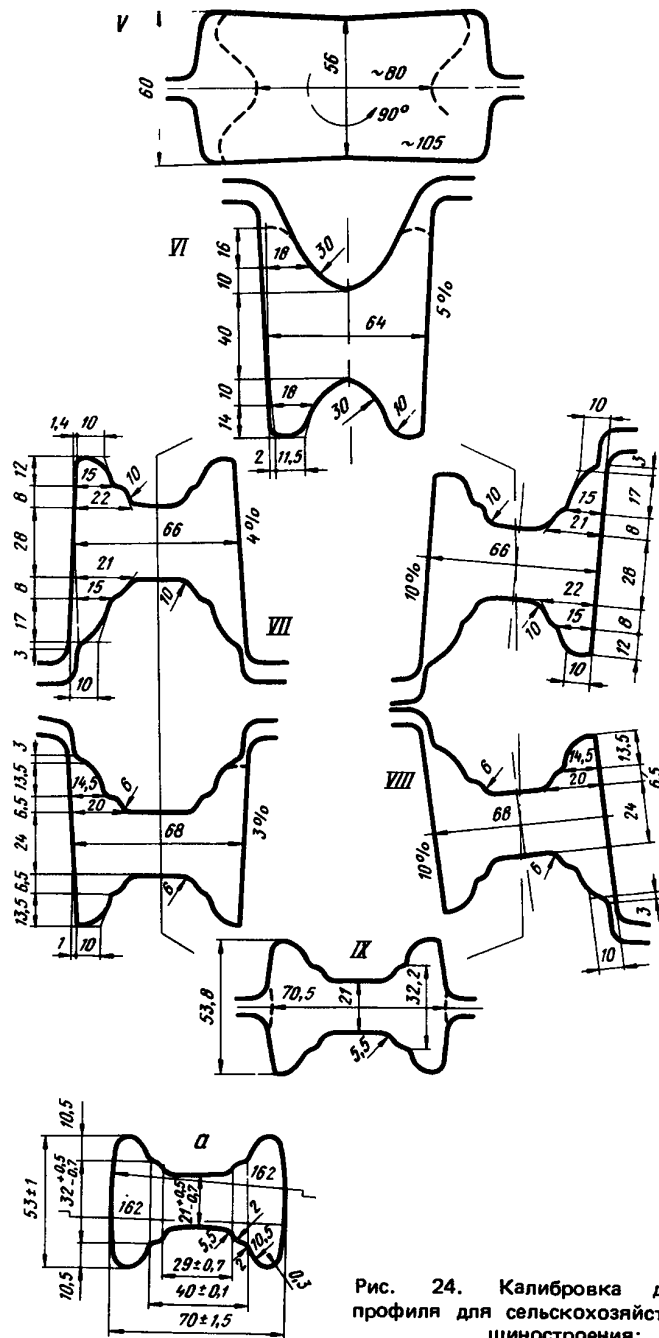


Рис. 24. Калибровка двутаврового профиля для сельскохозяйственного машиностроения:  
V – IX клетки; а – готовый профиль

ность регулировки уширения в клетях VI и полного устранения заземления в этом калибре. Кроме того, сечение заготовки увеличили до 160 X X 170 мм, что позволило повысить производительность стана 500 и обжимного стана 900.

В связи с массивными полками и стенками профиля и его сложной конфигурацией у основания полок применение повышенного уклона полок в предчистовом калибре не могло гарантировать выполнения готового профиля. Поэтому в предчистовом калибре уклон наружных граней полок был принят 3 %. В калибрах IV, VI и VII уклон составлял соответственно 10, 5 и 4 %. При таком небольшом уклоне в черновых калибрах снижалась их стойкость и увеличивался износ. Особенно это сказывалось для предчистового калибра, стойкость которого между переточками составляла всего лишь 400 – 500 т, а среднее уменьшение диаметров валков за одну переточку было не менее 25 мм.

Однако и после переточек ширина предчистового калибра полностью не восстанавливалась. Вследствие этого уменьшалось уширение в чистовом калибре и на готовом профиле хорошо выполнялись выступы между полками, но калибр переполнялся по ширине. Или отсутствовало переполнение калибра по ширине, но при этом наблюдалось недостаточное оформление выступов.

Чтобы обеспечить постоянство ширины полосы из предчистового калибра и получить устойчивый профиль, применили косорасположенные (угол наклона 10 %) балочные калибры в клетях VII и VIII (см. рис. 24). При этом стойкость предчистового калибра увеличилась с 400 до 700 т. Восстановление косорасположенных калибров полностью обеспечивалось при съеме по диаметру до 10 мм.

Некоторым недостатком косорасположенных калибров по сравнению с прямыми калибрами балочного типа является наличие опорных конусов, необходимых для компенсации осевых усилий. В результате на комплекте валков сокращается общее число калибров. Например, на валках предчистовой клетки размещается четыре калибра вместо пяти. Кроме того, при применении косорасположенных калибров увеличивается максимальный диаметр валков. Однако эти недостатки с избытком окупаются увеличением стойкости калибров, уменьшением съемов по диаметру при переточках валков и улучшением качества готового профиля.

Профиль балочного типа СП5-2 для стоек наружной рамы грузоподъемника отличается от стандартных балок незначительным уклоном (от 0 до 3 %) внутренних и наружных граней полок. При этом внутренние грани полок являются поверхностями качения и к ним предъявляют жесткие требования по размерам и конфигурации.

Профиль СП5-2 прокатывают на рельсобалочном стане 800 [32] из блюма сечением 210X192 мм за 9 проходов, первый из которых осуществляется в ящичном калибре. Чистовой калибр спроектирован с учетом возможного износа валков по толщине полок и их внутренней поверхности. Ширина между внутренними поверхностями полок запроектирована одинаковой с нижней и верхней стороны профиля и с учетом плюсового допуска. Наружный уклон граней полок составляет 1 %.

Одной из особенностей калибровки профиля СП5-2 является [32] полное ограничение уширения стенки в калибрах 6 — 8. Такая конструкция калибров обеспечивает наиболее благоприятные условия входа полосы из предыдущего калибра в последующий без опасности образования закатов в углах сопряжения стенки с полками. В связи с тем, что в первую очередь требовалось обеспечить нужный вход полосы в валки, коэффициенты обжатия по стенке и полкам в калибрах 5 — 8 были приняты незначительными и составляли 1,04 — 1,11 для полок и 1,06 и 1,10 для стенки.

Другой особенностью разработанной калибровки является неравномерное боковое обжатие полок в открытых и закрытых частях калибров 5 — 8. При этом обжатие полок по толщине по-прежнему производится только в открытых частях калибров и то главным образом у их основания. В закрытых же ручьях обжатие основания полос незначительно и удлинение обеспечивается в основном за счет обжатия по высоте. Приращение высоты полок в открытых ручьях не предусматривается.

Профиль для шины табулятора (рис. 25, а) пишущих машин имеет асимметричную двутавровую форму с треугольными пазами по внешним граням полок. Профиль изготавливают из стали 15 и поставляют в нагартованном состоянии по четвертому классу точности. Кривизна полос и скручивание вокруг продольной оси не должны превышать соответственно 1 мм и  $1^\circ$  на 1 м длины.

Профиль для шины табулятора с требуемым качеством и заданной точностью геометрических размеров может быть получен по следующим технологическим схемам:

1. Горячая прокатка фасонных подкатов без продольных пазов в двухвалковых калибрах с последующим волочением за три — четыре прохода. Основным недостатком данной схемы является невозможность получения в двухвалковых калибрах продольных треугольных пазов на боковых гранях полок и, как следствие этого, увеличение количества проходов при волочении. Кроме того, возникают затруднения при изготовлении фильер высокой точности и острении передних концов подкатов.

2. Горячая прокатка фасонных подкатов повышенной точности с продольными пазами в четырехвалковых калибрах и волочение подкатов за один проход. Применение данной технологии позволяет сократить количество проходов при волочении, но не устраняет затруднений, связанных с волочением фасонных профилей.

3. Горячая прокатка в четырехвалковых калибрах фасонных подкатов повышенной точности с продольными пазами с последующей холодной прокаткой также в четырехвалковых калибрах. Такая технология имеет существенные преимущества, так как отпадает необходимость в изготовлении фильер и острении передних концов полос. При этом повышается производительность и уменьшается расход металла. К недостаткам схемы можно отнести меньшую точность и возможность непроработки поверхности профиля в разъемах калибра.

При производстве профиля для шины табулятора была принята третья технологическая система. Горячекатаный фасонный подкат предусмот-

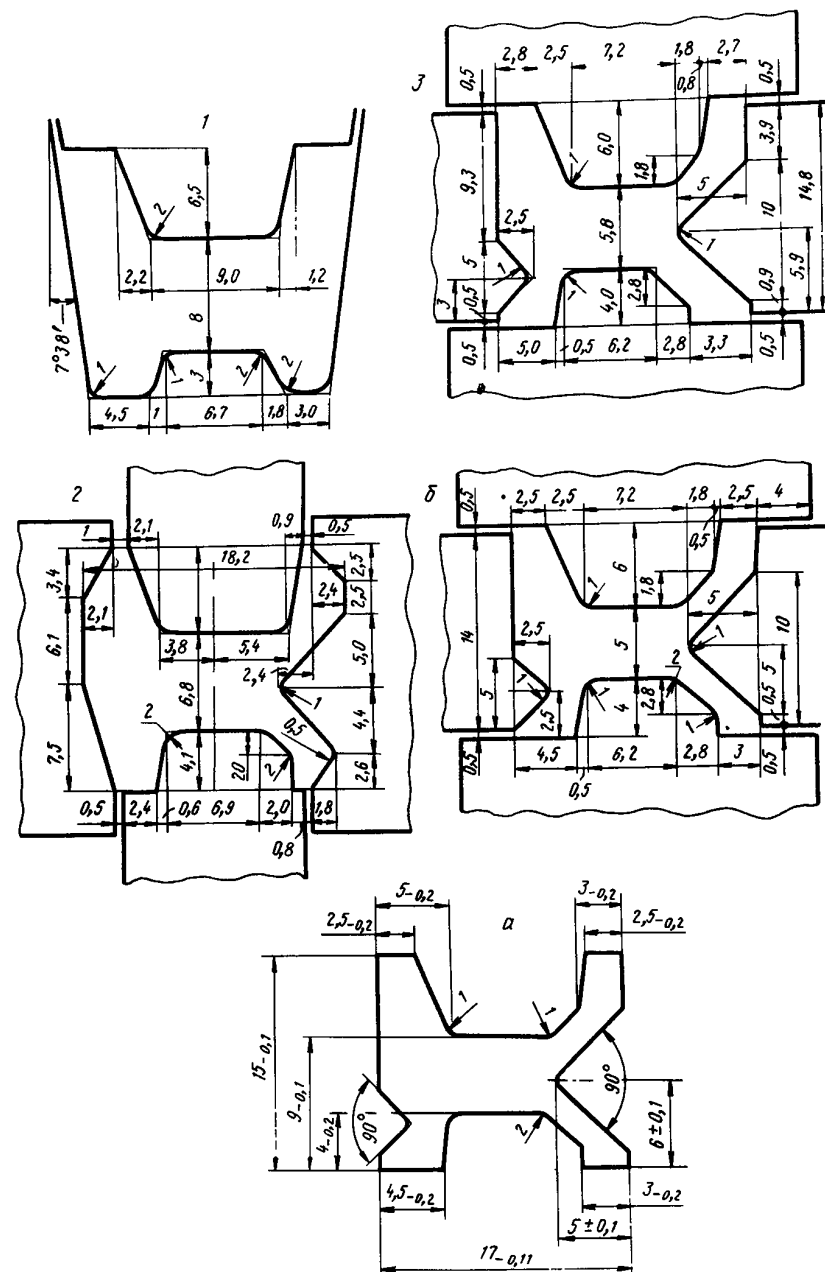


Рис. 25. Калибровка профиля для шины табулятора (исходная заготовка — круг 19 мм):

а — готовый профиль; б — калибр для холодной прокатки

рено прокатывать из заготовки круглого сечения за три прохода, два из которых осуществляются в четырехвалковых калибрах (рис. 25, б). Применение двух четырехвалковых калибров вызвано необходимостью получения подката повышенной точности и уменьшения износа чистового калибра.

При горячей прокатке максимальное формоизменение происходит в калибрах 1 и 2. В закрытом калибре 2 заготовка круглого сечения деформируется в асимметричный двутавровый подкат, из которого в четырехвалковом калибре 2 формируется фасонный профиль с треугольными пазами на внешних гранях полок. В чистовом четырехвалковом калибре холодной прокатки осуществляется окончательное формирование полок и стенки профиля. Конфигурация чистового калибра аналогична форме готового профиля. Общий коэффициент вытяжки за три прохода при горячей прокатке из заготовки диаметром 19 мм равен 1,859, а средний за проход — 1,23.

Освоение профиля произведено на полупромышленном двухклетевом линейном стане 300. Температура начала прокатки 1140–1180°C, конца — 850–900°C. Четырехвалковые калибры при горячей и холодной прокатке образовывали установкой на двухвалковых клетях кассет с неприводными вертикальными валками диаметром 70 мм; диаметр исходной заготовки 18–20 мм.

Из анализа экспериментальных данных следует, что наиболее полное заполнение калибров наблюдается при исходной заготовке диаметром 19,5–20,0 мм. Но так как при этом в четырехвалковом калибре 2 происходит образование заусенцев, то для опытной прокатки была принята заготовка диаметром 19 мм.

Перед холодной прокаткой в четырехвалковом калибре горячекатаные подкаты подвергали травлению в растворе серной кислоты, промывке в воде и нейтрализации в содовом растворе. Коэффициенты обжатия при холодной прокатке приняты незначительные, но достаточные для того, чтобы обеспечить требуемое качество поверхности и точность размеров профиля: коэффициент вытяжки при холодной прокатке равен 1,16.

Колебания размеров готового профиля составляли по толщине стенки от 4,9 до 5,1 мм, по высоте профиля от 14,9 до 15,2 мм, по ширине профиля от 16,9 до 17,2 мм и по высоте верхних и нижних полок соответственно от 5,8 до 6,0 мм и от 4,0 до 4,1 мм. Профиль для шины табулятора прошел успешно испытания на заводе пиццущих машин.

#### ТАВРОВЫЕ ПРОФИЛИ

Сортамент проката содержит большое количество профилей и профилен-размеров тавровой стали. Кроме того, имеются фасонные профили, которые, хотя и несколько отличаются по форме от тавровой стали, но их прокатывают по тем же самым 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. Обычно используют тавровые и подобные им профили мелких и средних размеров. Тавровую сталь больших размеров применяют сравнительно редко.

В соответствии с работой [2] профили тавровой формы выделены в отдельный класс, который состоит из трех групп и включает профили тавровой формы с массивными элементами, крестообразной формы с одной или двумя осями симметрии и тавровые профили с равнотолщинными элементами.

Тавровую сталь прокатывают, как правило, с постоянной толщиной полок. Боковые грани обычно имеют уклон, составляющий от 1 до 10 %. В последние годы был предложен [33] и затем получил распространение способ прокатки тавровой стали при полном отсутствии уклонов боковых граней стенок и полок. Тавровые профили прокатывают преимущественно в открытых калибрах со свободным уширением [33, 34]. Для расчета калибровки могут быть рекомендованы зависимости, полученные на основании вариационных методов и приведенные в работе [35].

На рис. 26 даны размеры калибров для прокатки на стане 250 таврового профиля 50X41X3,5X3,8 мм для тормозных колодок легкового автомобиля ГАЗ-24. Расчет калибровки выполнен в соответствии с методикой, приведенной в работе [35] для типовой схемы прокатки с шестью фасонными открытыми калибрами. В первых по ходу прокатки пластовых калибрах, кроме обжатия стенки, происходит первоначальное формирование полок профиля. Так как глубокие врезы в валки плохо заполняются металлом, то при значительной ширине полок приходится предусматривать в первом и втором пластовых калибрах большую толщину полок и тем самым сокращать утяжку полос в связи с увеличением их площади. Чтобы устранить искривление полосы в первых пластовых калибрах (как следствие неравномерной деформации по ширине), предусматривают с правой стороны калибра повышенное обжатие и устанавливают длинные выводные линейки.

Радиусы закруглений, уклоны боковых граней, контрольные обжатия в закрытых частях калибров и ширину открытых частей калибров выбирают конструктивно с учетом анализа действующих калибровок тавровых профилей.

В первых двух по направлению прокатки пластовых калибрах по условиям технологии образуется выпуклость со стороны подошвы, которая устраняется в калибрах II и III. В клетях II выпуклость имеет форму треугольника с основанием 18 мм и высотой 6 мм. При деформации в клетях III 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 клетки I, и размеры пластового калибра этой клетки определяют конструктивно на основании анализа действующих калибровок.

Как было указано выше, тавровый профиль 50X41X3,5X3,8 мм прокатывают без уклона боковых граней стенки и полок. Окончатель-

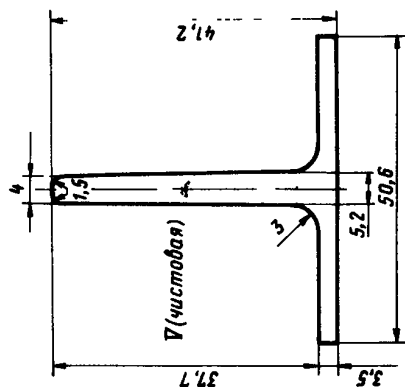
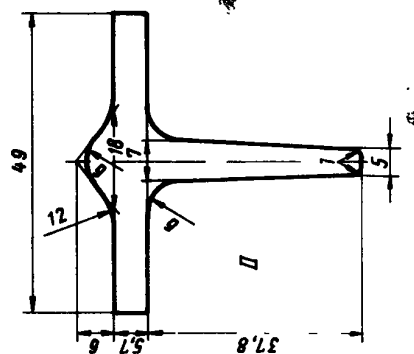
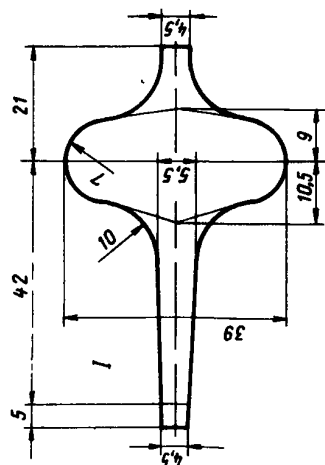
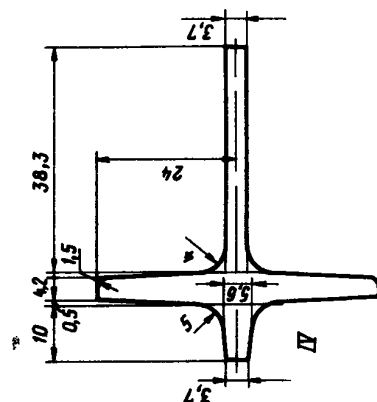
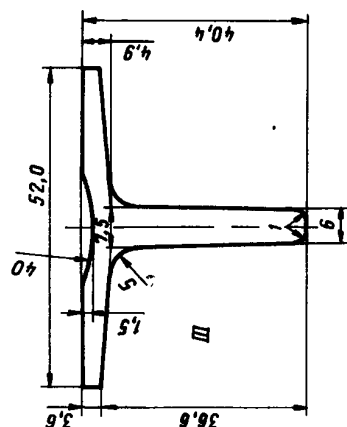


Рис. 26. Размеры калибров для прокатки таврового профиля 50X41X3; 5X3,8 мм (I — V клетки)



ная форма и размеры стенки профиля получаются при прокатке в предчистовом калибре. При этом в калибре клетки III приходится предусматривать несколько большую, чем по расчету, вогнутость наружной поверхности подошвы, так как в следующем по ходу прокатки калибре клетки IV вследствие клиновидной формы стенки задаваемой полосы происходит смещение полосы в сторону подошвы.

Темплеты полос (в холодном состоянии), взятые при опытной прокатке, имели следующие размеры по клетям:

|                   | I    | II   | III  | IV   | V    |
|-------------------|------|------|------|------|------|
| Толщина, мм:      |      |      |      |      |      |
| стенки . . . . .  | 6,0  | 4,7  | 4,5  | 3,8  | 3,8  |
| полос . . . . .   | —    | 5,7  | 3,9  | 4,0  | 3,5  |
| Ширина полок, мм  | 32,2 | 47,6 | 52,6 | 47,2 | 49,2 |
| Высота стенки, мм | 59,3 | 46,0 | 39,7 | 43,8 | 41,5 |

По результатам опытной прокатки проведена незначительная корректировка калибровки.

Так как ребровой калибр в клетке V (см. рис. 26) имеет уклон боковых граней стенки при постоянной толщине стенки прокатываемой в калибре полосы, то на готовом профиле у основания стенки образуется незначительное утолщение ступенчатой формы. Этот выступ можно устранить почти полностью при подборе радиусов закруглений калибра в месте соединения стенки и полок и тщательной установке вальковой арматуры.

На стане 250 был также освоен тавровый профиль 41X33X3,0X3,5 мм для тормозных колодок автомобиля "Москвич". В процессе опытной прокатки определяли размеры профиля с целью выявления разнотолщинности элементов профиля по длине полосы. На основании статистического анализа полученных данных были построены частотные графики колебаний размеров профиля. При этом среднеквадратичные отклонения, мм, размеров отдельных элементов равны, мм:

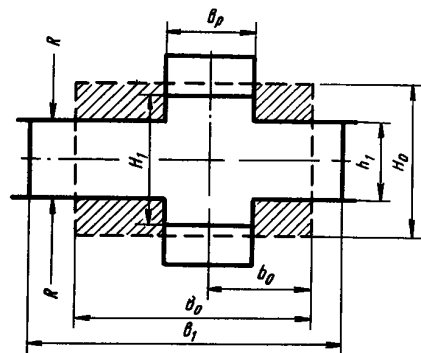
|                            |        |
|----------------------------|--------|
| По высоте стенки . . . . . | ± 0,15 |
| По толщине " . . . . .     | ± 0,09 |
| По ширине полок . . . . .  | ± 0,25 |
| По толщине " . . . . .     | ± 0,08 |

Использование общего поля допусков при опытной прокатке таврового профиля 41X33X3,0X3,5 мм составило, %:

|                            |    |
|----------------------------|----|
| По высоте стенки . . . . . | 20 |
| По толщине " . . . . .     | 3% |
| По ширине полок . . . . .  | 35 |
| По толщине " . . . . .     | 40 |

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 или квадратного сечения. От точности оценок и расчетов коэффициентов вытяжки  $\lambda$ , уширения  $\beta$  и, особенно, утяжки  $\delta$  необжимаемых частей полосы зависит число фасонных калибров и эффективность калибровки.

С целью получения формул для определения формоизменения в несимметричных крестообразных калибрах были проведены [36] экспериментальные исследования на двухклетевом полупромышленном стане 300.



В качестве независимых переменных были приняты (рис. 27) геометрические размеры очага деформации и калибра:  $H_0$ ,  $h_1$  — толщина полосы до и после пропуска;  $B_0$  — ширина полосы до пропуска;  $B_p$  — ширина вреза калибра;  $b_0$  — величина асимметричности полосы в калибре;  $R$  — радиус валков.

Рис. 27. Схема деформации прямоугольной полосы в крестообразном калибре

Образцы изготавливали из стали МСт3 длиной 300 — 350 мм; температура нагрева образцов  $1000^\circ\text{C}$ . Исходя из технической характеристики стана 300 на размеры образцов и валков были наложены ограничения:

$$H_{0\max} = 40 \text{ мм}, B_{0\max} = 80 \text{ мм}, \Delta h_{\max} = 20 \text{ мм}. \quad (2)$$

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

$$0,25 B_0 \leq B_p \leq 0,4 B_0, \quad 0,25 \leq b_0/B_0 \leq 0,5. \quad (3)$$

Радиусы  $R$  нижнего и верхнего валков приняты постоянными и равными 150 мм.

Безразмерные относительные параметры  $m_i$  очага деформации определены как отношения размеров  $H_0$ ,  $B_0$ ,  $B_p$ ,  $b_0$  и радиуса  $R$  к толщине  $h_1$  обжимаемых участков полосы после пропуска  $m_1 = H_0/h_1$ ;  $m_2 = B_0/h_1$ ;  $m_3 = B_p/h_1$ ;  $m_4 = b_0/h_1$ ;  $m_5 = R/h_1$ .

Пределы изменения параметров  $m_i$  с учетом данных 2 и 3 равны

$$\left. \begin{aligned} 1,3 \leq m_1 \leq 2,0; \quad 3,0 \leq m_2 \leq 4,0; \quad 0,7 \leq m_3 \leq 1,6; \\ 1,0 \leq m_4 \leq 1,8; \quad 7,5 \leq m_5 \leq 10,0. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

При планировании эксперимента в качестве модели для неизвестных функций был принят полином второй степени. В качестве плана эксперимента использован точный насыщенный план  $B_5$ , точками которого являются вершины гиперкуба и центры его граней. Обработка экспериментальных данных была произведена в соответствии с работой [37]. Вследствие сложности зависимостей для  $\lambda$ ,  $\beta$  и  $\delta$  была выполнена проверка значимости коэффициентов полиномов. После отбрасывания незначимых членов полиномов формулы для определения коэффициентов деформации  $\lambda$ ,  $\beta$  и  $\delta$  имеют вид:

$$\begin{aligned} \lambda = & 0,935 + 0,171(H_0/h_1) - 0,114(B_0/h_1) + 0,193(B_p/h_1) + \\ & + 0,120(H_0 B_0/h_1^2) - 0,234(H_0 B_p/h_1^2); \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \beta = & 0,495 + 0,464(H_0/h_1) + 0,045(B_0/h_1) + \\ & + 0,013(R/h_1) - 0,062(H_0 B_0/2); \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \delta = & 0,496 + 0,323(H_0/h_1) + 0,036(B_0/h_1) + 0,179(B_p/h_1) - \\ & - 0,167(H_0 B_0/h_1^2). \end{aligned} \quad (7)$$

которые определены для интервалов изменения параметров  $m_i$ , указанных в формулах (4).

Оценка дисперсии ошибок наблюдения в формулах (5) — (7) составляет соответственно 0,00304; 0,00074 и 0,00347. Поэтому полученные методом планируемого эксперимента формулы (5) — (7) можно рекомендовать при расчете калибровок тавровых и крестообразных профилей.

Представляет интерес прокатка сложных тавровых профилей 59X92 мм (рис. 28, а) и 59X102 мм (рис. 28, б) на крупносортом стане 500 [38].

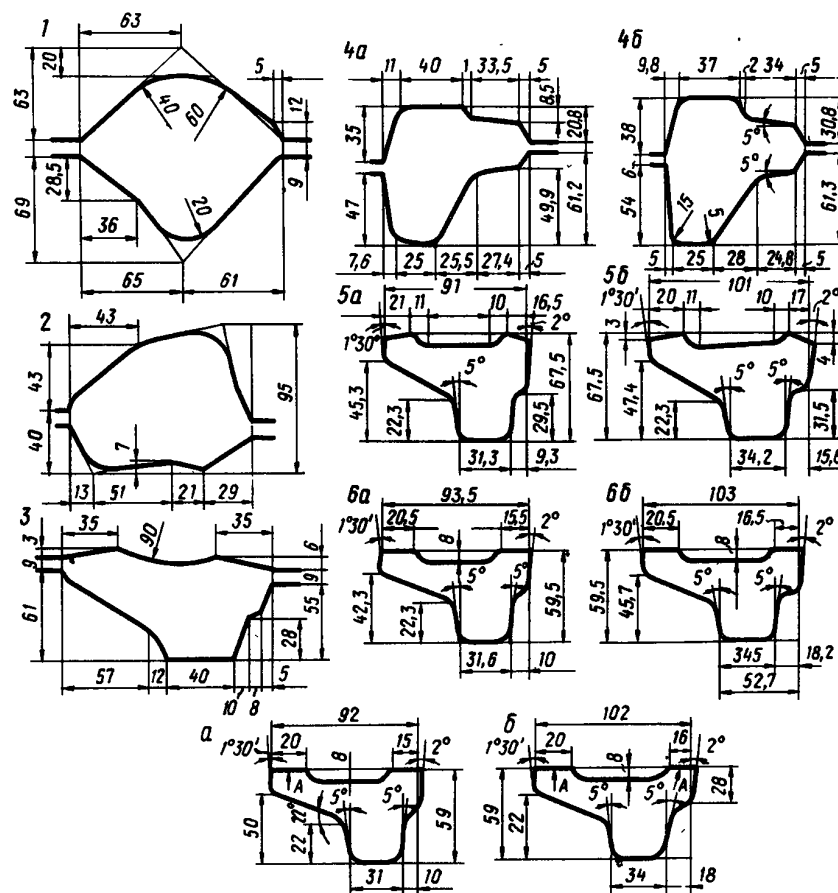


Рис. 28. Калибровка тавровых профилей 59X92 мм (калибры 1, 2, 3, 4а, 5а, 6а) и 59X102 мм (калибры 1, 2, 3, 4б, 5б, 6б): а — профиль 59X92 мм; б — профиль 59X102 мм

Площадь поперечного сечения готового профиля 59Х92 мм равна 3300 мм<sup>2</sup>, профиля 59Х102 мм — 3600 мм<sup>2</sup>.

Для этих профилей характерно наличие утолщенной стенки с закруглением углов радиусом до 8 мм и полок разной ширины. При этом длинная полка имеет трапецевидную форму с отношением ширины к средней толщине, примерно равным двум, а короткая полка — прямоугольную форму. Ширина длинной полки у обоих профилей одинакова (50 — 51 мм), а узкой — резная. У профиля 59Х102 мм ширина узкой полки равна 18 мм, у профиля 59Х92 — 10 мм. На наружной поверхности полки имеется канавка глубиной 8 мм с закруглением углов по радиусу, равному 5 мм. На участках А (рис. 28, а и б) поверхностей полки профилей утяжка не допускается. При формировании профилей возможно незаполнение углов в разъемах чистовых калибров радиусом до 10 мм.

Исходная заготовка для прокатки имеет сечение 97Х97 мм. Первые три фасонные калибра являются общими для обоих профилей. Перед каждым калибром, за исключением чистовых, предусматривается кантовка. Калибры 1, 2 и 3 выполнены со свободным уширением, причем их заполнение можно легко регулировать при настройке стана.

Чистовые и предчистовые калибры для обоих профилей выполнены закрытыми с разъемом в одну и ту же сторону. Особенностью принятой схемы прокатки 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 с утолщенной стенкой недопустима, так как может привести к свертыванию полосы в калибре или к защемлению стенки и оковыванию валька. При тонкой стенке не гарантируется формирование ее боковых граней. Оптимальная толщина стенки, формируемой в предчистовом пластовом калибре, была выбрана 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 валька в предчистовом калибре.

При общих калибрах 1, 2 и 3 уширение в пластовых калибрах 4 а и 4 б различное при одном и том же сечении полосы, выходящей из калибра 3. Для определения уширения произвели разбивку фасонной полосы, выходящей из калибра 3 на два элемента (элемент I — полки профиля, элемент II — стенка профиля), границу между которыми провели через вершины углов, образованных полками и боковыми поверхностями стенки. Как показал опыт [38], 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 определяют 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, определяют площадь, смещенную по ширине, и соответствующее ей уширение. Анализ размеров и конфигурации темплетов, взятых для калибров 3, 4 а и 4 б, показал, что в пластовом калибре для профиля 59Х92 мм коэффициенты вытяжки равны:  $\lambda_I = 1,21$ ;  $\lambda_{II} = 1,205$ ;  $\lambda_{ср} = 1,208$  и для профиля 59Х102 мм —  $\lambda_I = 1,148$ ;  $\lambda_{II} = 1,142$ ;  $\lambda_{ср} = 1,144$ , т.е. коэффициенты вытяжки элементов I и II примерно одинаковы. При прокатке профиля 59Х92 мм уширение стенки в пластовом предчистовом калибре значительно больше, чем при прокатке профиля 59Х102 мм. Поэтому при контроле размеров полос в процессе прокатки профиля 59Х102 мм стенка полосы из пластового калибра должна в отличие от профиля 59Х102 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 4 а и 4 б) существенно влияет на заполнение предчистового и чистового калибров. В калибре 3 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 А полок профилей. При анализе размеров и конфигурации темплетов установлено, что глубина желоба в калибре 3 уменьшается до 3,5 мм в калибре 4 а и до 4,5 мм в калибре 4 б. Уменьшение глубины желоба вызывает увеличение неравномерности деформации по ширине полосы в предчистовых калибрах и может привести к утяжке участков А наружной поверхности полок. В чистовых калибрах эта утяжка полностью устраняется. На готовых профилях имеется некоторое незаполнение угла на концах длинных полок. Радиус закругления составляет до 5 мм.

При опытной прокатке тавровые профили 59Х92 и 59Х102 мм были получены в полном соответствии с техническими условиями. На трехклетевом линейном стане 400 была освоена [34] калибровка профиля ПС-107А из сталей 1Х18Н9Т и ЭИ481.

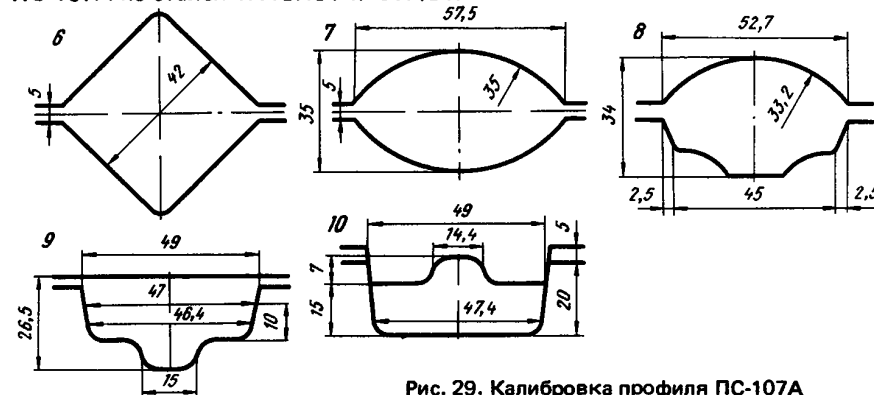


Рис. 29. Калибровка профиля ПС-107А

Профиль ПС-107А представляет собой утолщенный таврик с невысокой стенкой и формируется он из квадратного сечения  $40,5 \times 40,5$  мм в одном овальном и трех фасонных калибрах (рис. 29). Исходная заготовка сечением  $85 \times 85$  мм нагревается в методической печи до  $1170 - 1200^\circ\text{C}$ ; общее количество проходов равно десяти.

При проектировании калибровки были использованы имеющиеся вытяжные калибры, применяемые для прокатки существующего сортамента стана. В результате парк валков был сокращен до минимума и устранены потери времени, связанные с перевалкой в клетях I и II.

Для обеспечения требуемой формы готового профиля большое значение имеет правильное заполнение овального калибра 7. Если в калибре 7 вследствие неточной настройки или разности диагоналей исходной квадратной полосы происходит ее сваливание, то при прокатке такого овала в калибре 8 на боковых частях полосы образуется наплыв в виде уступа, который может привести к закату в последующих калибрах.

Принятая овальная форма верхнего ручья калибра 8 устраняет возможность образования заусенцев в этом калибре и способствует хорошему выполнению стенки профиля. Полузакрытая форма калибра 9, образованного ручьем только одного вала, обеспечивает центрирование стенки профиля относительно полок и облегчает настройку стана.

Большое значение при прокатке профиля ПС-107А имеет температурный режим. С понижением температуры резко возрастает сопротивление деформации (особенно стали 37Х12Н8Г8МФБ) и соответственно давление металла на валки. Поэтому температура конца прокатки не должна быть менее  $950^\circ\text{C}$ .

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

#### ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАЛИБРОВКИ ПРОФИЛЯ СТОЙКИ РЕФРИЖЕРАТОРА

Профиль стойки полуприцепа рефрижератора (рис. 30, а), хотя и имеет некоторую асимметрию, относится к группе полосовых профилей желобочной формы с вертикальной осью симметрии. Этот профиль характерен наличием глубоких впадин и выступов с небольшим наклоном вертикальных элементов, равным  $7^\circ$ .

При разработке калибровки профиля стойки полуприцепа использована методика расчета и построения калибров при постоянной конфигурации средней линии, определенной для чистового калибра. Расчет калибровки производят по следующей схеме.

1. Определяют линейные размеры готового профиля с учетом термического коэффициента расширения металла и определения размеров чистового калибра с учетом допускаемых отклонений и износа валков. Схема фасонного  $j$ -того калибра для прокатки стойки рефрижератора представлена на рис. 31. На основании размеров и допусков готового профиля (см. рис. 30, а) для чистового калибра получены следующие основные

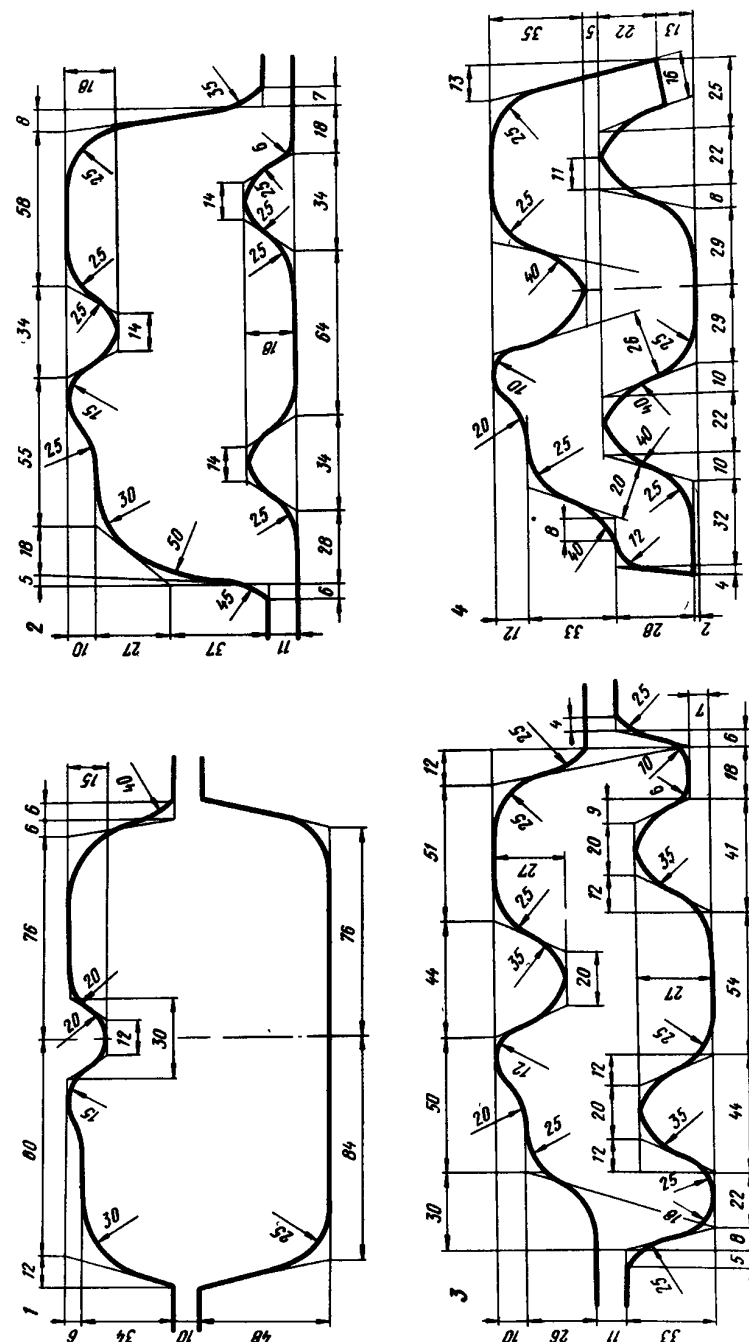
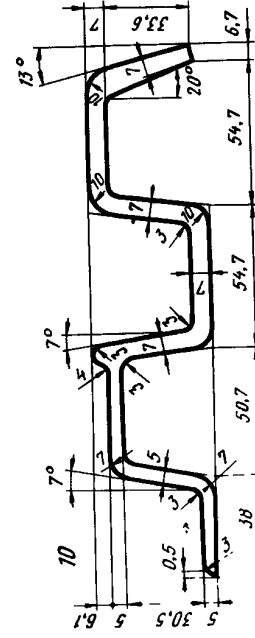
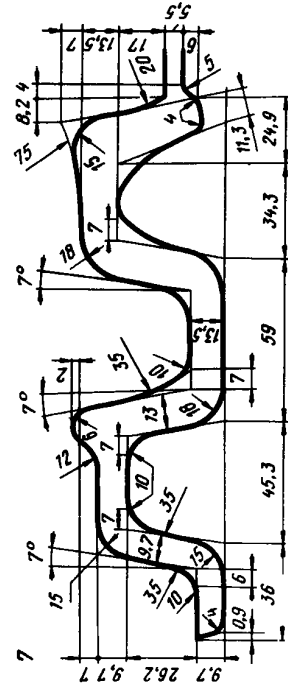


Рис. 30. Калибровка профиля стойки полуприцепа рефрижератора (а — готовый профиль)



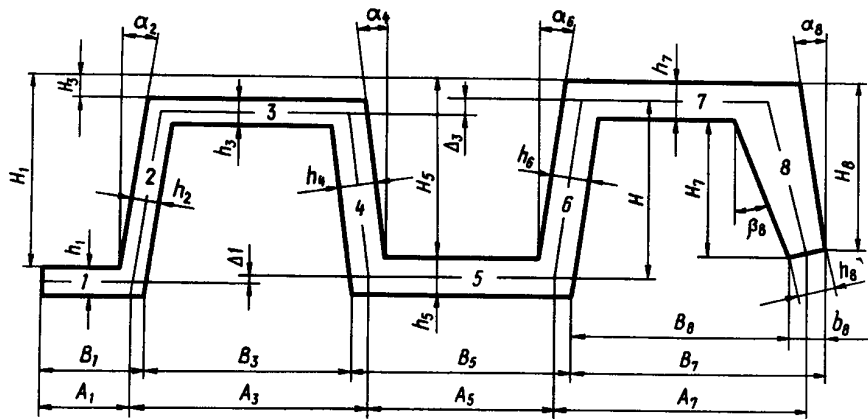


Рис. 31. Схеме для расчета размеров фасонного калибра профиля стойки полуприцепа рефрижератора

размеры:  $B_1 = 35,8$  мм;  $B_3 = 50,6$  мм;  $B_5 = 54,7$  мм;  $B_7 = 61,4$  мм;  $h_1 = h_3 = 5$  мм;  $h_2 = h_4 = h_5 = h_6 = h_7 = h_8 = 7$  мм;  $H_1 = 41,6$  мм;  $H_3 = 6$  мм;  $H_5 = H_7 = 39,6$  мм;  $H_8 = 40,6$  мм;  $\alpha_2 = \alpha_4 = \alpha_6 = 7^\circ$ ;  $\alpha_8 = 13^\circ$ ;  $\beta_8 = 20^\circ$ .

2. Выбирают схемы прокатки и количество контрольных калибров.

3. Выбирают исходную заготовку из того сортамента, который прокатывают на заготовочном стане. При этом увеличение количества сечений исходных заготовок для сортового стана нежелательно, а для заготовочного стана просто недопустимо без достаточных на то оснований. Наилучшим вариантом для сортовых станов следует считать один типоразмер заготовки.

4. Разбивают поперечное сечение профиля на элементы (см. рис. 31), отличающиеся друг от друга расположением и условиями деформации. Выбирают базовый элемент. Для профиля стойки рефрижератора базовым является элемент 5.

5. Определяют суммарный коэффициент обжатия базового элемента 5 толщиной  $h_5$  по следующей формуле:  $1/\eta_5 = H_0/h_5$ , где  $H_0$  — толщина исходной заготовки.

6. Определяют суммарные коэффициенты  $k_i$  неравномерности обжатия толщины элементов профиля относительно коэффициента обжатия базового элемента  $k_i = \eta_5/\eta_i$ , где  $i$  — номер элемента ( $i = 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8$ ).

7. Определяют частные коэффициенты неравномерности обжатия толщины элементов в каждом калибре. При этом произведение частных коэффициентов для каждого элемента равно суммарному коэффициенту неравномерности обжатия для этого же элемента.

8. Вычисляют параметры средней линии чистового калибра на основании размеров чистового калибра и данных рис. 31 (длины средних линий обозначают через  $l_i$ , где  $i$  — номер элемента):

а) вертикальную проекцию средней линии наклонного элемента 8  $l_8^b = H_5 + h_5 + 0,5 h_7 \operatorname{tg} \alpha_8 = 37,9$  мм;

б) горизонтальную проекцию средней линии элемента 8  $l_8^g = l_8^b \times \operatorname{tg} 0,5(\alpha_8 + \beta_8) = 11,2$  мм;

в) горизонтальную проекцию кромки отогнутой полки  $b_8 = h_8 \times \cos \alpha_8 = 6,8$  мм;

г) ширину впадины между элементами 6 и 8 по средней линии  $A_7 = B_7 - 0,5 b_8 + 0,5 h_6 / \cos \alpha_6 - 0,5 h_5 \operatorname{tg} \alpha_6 = 61,2$  мм;

д) ширину элемента 5 по средней линии  $A_5 = B_5 - 0,5(h_4 / \cos \alpha_4 - h_6 \cos \alpha_6) + 0,5 h_6 (\operatorname{tg} \alpha_4 + \operatorname{tg} \alpha_6) = 48,6$  мм;

е) ширину элемента 3 по средней линии  $A_1 = B_1 - 0,5 h_2 / \cos \alpha_2 + 0,5 h_1 \operatorname{tg} \alpha_2 = 33,6$  мм;

ж) ширину элемента 1 по средней линии  $A_1 = B_1 - 0,5 h_2 / \cos \alpha_2 + 0,5 h_1 \operatorname{tg} \alpha_2 = 33,6$  мм;

и) расстояние по вертикали между средними линиями элементов 1 и 5  $\Delta_1 = 0,5(h_5 - h_1) = 1$  мм;

к) расстояние по вертикали между средними линиями элементов 5 и 7  $H = H_5 + 0,5 h_5 - 0,5 h_7 = 39,6$  мм = const;

л) расстояние по вертикали между средними линиями элементов 3 и 7  $\Delta_3 = H_3 + 0,5 h_3 - 0,5 h_7 = 5,1$  мм.

9. Определяют геометрические размеры, необходимые для построения всех фасонных калибров по формулам:  $H_1 = H + 0,5 h_7 - 0,5 h_1 - \Delta_1 = 38,6 + 0,5(h_7 - h_1)$ ;  $H_3 = \Delta_3 + 0,5(h_7 - h_3) = 5,1 + 0,5(h_7 - h_3)$ ;  $H_5 = H + 0,5(h_7 - h_5) = 39,6 + 0,5(h_7 - h_5)$ ;  $H_8 = l_8^b + 0,5(h_7 + h_8 \times \operatorname{tg} \alpha_8) \pm \Delta H_8 = 37,9 + 0,5(h_7 + h_8 \operatorname{tg} 13^\circ) \pm \Delta H_8$  ( $\Delta H_8$  — изменение (приращение или обжатие) элемента 8 по высоте):  $B_8 = A_7 - 0,5 \times (h_6 / \cos \alpha_6) + 0,5 h_5 \operatorname{tg} \alpha_6 - 0,5 h_8 [(\alpha_8 + \beta_8) / 2] = 61,2 - 0,5(h_6 / \cos 7^\circ) + 0,5 h_5 \operatorname{tg} 7^\circ - 0,5 h_8 \cos 16^\circ 30'$ ;  $B_5 = A_5 + 0,5(h_4 / \cos \alpha_4 + h_6 / \cos \alpha_6) - 0,5 h_5 (\operatorname{tg} \alpha_4 + \operatorname{tg} \alpha_6) = 48,6 + (0,5 / \cos 7^\circ)(h_4 + h_6) - h_5 \operatorname{tg} 7^\circ$ ;  $B_3 = A_3 - 0,5(h_2 / \cos \alpha_2 + h_4 / \cos \alpha_4) + 0,5(h_1 \operatorname{tg} \alpha_2 + h_5 \operatorname{tg} \alpha_4) = 55,9 - (0,5 / \cos 7^\circ)(h_2 + h_4) + 0,5 \operatorname{tg} 7^\circ(h_1 + h_5)$ ;  $B_1 = A_1 + 0,5(h_2 / \cos \alpha_2) - 0,5 h_1 \operatorname{tg} \alpha_2 + \Delta B_1 = 33,6 + (h_2 / 2 \cos 7^\circ) - 0,5 h_1 \operatorname{tg} 7^\circ + \Delta B_1$  (уширение элемента 1);  $b_8 = h_8 \cos \alpha_8 = h_8 \cos 13^\circ$ ;  $H_7 = H_8 + h_8 \times \operatorname{tg} \alpha_8 - h_7 = H_8 + h_8 \operatorname{tg} 13^\circ - h_7$ .

10. Рассчитывают уширения  $\Delta B_1$  элемента 1.

11. Определяют радиусы закруглений.

12. Вносят поправки в калибровку.

Полученные для всех фасонных калибров соотношения позволяют полностью рассчитать калибровку. Вначале, как это следует из методики, определяют коэффициенты обжатия и коэффициенты неравномерности обжатия для элементов профиля. На основании этих коэффициентов вычисляют толщины элементов для всех калибров. Далее определяют основные размеры калибров. Определяют вначале один размер для всех

калибров (например,  $H_1$ ), затем следующий и т.д. При этом прослеживается динамика всех изменений размеров в комплексе, по всем элементам профиля и по всему процессу прокатки профиля.

Расчет калибровки профиля стойки полуприцепа рефрижератора был выполнен по изложенной методике. При выборе режима обжатия в последних по ходу прокатки калибрах формоизменение принято незначительным. Основная деформация осуществляется в первых по ходу прокатки калибрах. Такой режим обуславливается сложной формой профиля, его значительной шириной и, вследствие этого, повышенными для данного стана усилиями прокатки. Исходную заготовку принимают сечением 135X167 мм.

После расчета калибровки были внесены некоторые изменения. Так как уклон наклонных вертикальных элементов 2, 4 и 6 (см. рис. 31) сравнительно небольшой (всего  $7^\circ$ ), то в процессе прокатки можно предположить образование закатов. Поэтому в подготовительных формирующих калибрах элементы 2, 4 и 6 были выполнены с переменным по высоте уклоном. В результате такого изменения толщина этих элементов на большей части их высоты увеличивается по сравнению с расчетной. Это создает опасность чрезмерных давлений в связи с увеличением фактического обжатия по толщине элементов 2, 4 и 6 в калибрах 6 – 9, расположенных в клетях II. Поэтому толщину по прямым элементам 2, 4 и 6 пришлось уменьшить против расчетной, чтобы приблизить к расчетной среднюю толщину наклонных элементов. Были внесены некоторые изменения в первых по ходу прокатки разрезных калибрах, поскольку в этих калибрах характер деформации отличается от формоизменения в последних калибрах, подобных по форме готовому профилю. При этом средняя линия отогнутого элемента 8 сдвинута к середине, так как быстро возрастает по ходу расчета ширина сечения, что нежелательно. И, наконец, была увеличена ширина элемента 1.

Освоение профиля стойки полуприцепа рефрижератора на трехклетевом линейном стане 550 прошло успешно. Жесткая форма сечения профиля предопределяет устойчивое положение полосы в калибре и, вместе с тем, практически полную невозможность перемещения металла за счет смещения валковой арматуры.

При незаполнении или переполнении по ширине элемента 1 влиять на степень заполнения этого элемента можно только в калибрах 1 и 2 за счет положения разрезающих гребней относительно ширины полосы. Это достигают настройкой валковой арматуры.

Увеличение ширины элемента 1 по сравнению с расчетной оказалось ненужным, так как при опытной прокатке ширина профиля была близка к максимально допустимой.

### Глава 3. С-ОБРАЗНЫЕ, ПОЛОСОВЫЕ И УГЛОВЫЕ ПРОФИЛИ

#### ПРОФИЛИ ДЛЯ ТУРБИННЫХ ЛОПАТОК

Профили для турбинных лопаток имеют С-образную форму и могут быть получены одинарной и двоянной прокаткой [2, 40]. При использовании схемы двоянной прокатки профили относят [2] к группе волнообразных профилей, состоящих из двух С-образных элементов каплевидной формы с неодинаковой толщиной по ширине профиля, двоянных толстыми или тонкими кромками. После разрезки и соответствующей механической обработки профили используют для изготовления направляющих турбинных лопаток. Профили турбинных лопаток, прокатываемые в одинарном виде, относят к группе несимметричных профилей каплевидной формы, представляющих дугообразную полосовую стель с элементами разной толщины. Отношение толщины тонкой части профиля к толстой составляет 1:5.

Прокатка профилей для турбинных лопаток является прогрессивным методом. При применении фасонного проката расход нержавеющей стали по сравнению с сортовой заготовкой прямоугольного или квадратного сечения уменьшается в среднем на 50 % с одновременным повышением механических свойств материала. Припуск на обработку обычно составляет 1,0 – 2,0 мм. Профили для турбинных лопаток можно изготавливать горячей или холодной прокаткой.

При этом [41] холодную прокатку из заготовки прямоугольного, квадратного или круглого сечения целесообразно применять для профилей турбинных лопаток массой до 2,5 кг на 1 м длины. Для профилей массой до 10 – 12 кг на 1 м длины холодная прокатка неэкономична и выгоднее получать профили горячей прокаткой.

По расходу металлу горячий профильный прокат почти не отличается от холодного. Исходную заготовку при холодной прокатке турбинных лопаток обычно обтачивают и шлифуют на 2 – 3 мм по диаметру для удаления наружных дефектов. Горячий прокат тоже имеет припуск под фрезерование до 1 – 2 мм на сторону. Таким образом в конечном итоге расход металла почти одинаков.

Применяемые в турбостроении жаропрочные стали приобретают необходимые свойства в процессе закалки при температуре не ниже  $1100^\circ\text{C}$ . Поэтому в случае использования холоднокатаных профилей теряется при закалке качество поверхности и, кроме того, происходит сильное искривление полос. Естественно, что профили турбинных лопаток из жаропрочных сталей целесообразнее получать горячей прокаткой.

По сравнению с горячей штамповкой [41] производство горячекатаных турбинных лопаток позволяет при одинаковой стоимости оснастки повысить точность изготовления, увеличить стойкость инструмента и уменьшить трудоемкость изготовления почти в два раза. Выход годного составляет при прокатке 85 %, в при штамповке – 70 %.

Опыт освоения новых профилей заготовок турбинных лопаток показал [42], что метод горячей прокатки с припуском на механическую обработку является наиболее рациональным, производительным и сравнительно легко осуществимым. Представляет также интерес процесс получения профилей для турбинных лопаток горячей прокаткой профильных заготовок с последующей холодной прокаткой. Предложенная технология позволяет исключить механическую обработку, ручную доводку и шлифовку деталей. Исходную заготовку и горячекатаный подкат подвергают травлению, что гарантирует получение чистой и качественной поверхности холоднокатаных профилей.

Так как профили турбинных лопаток имеют сложную и несимметричную форму, то их целесообразно получать двоянной прокаткой. Однако для получения профиля шириной более 250 мм необходимы станы, диаметр валков которых 750 – 800 мм, и монтажные нормы их значительно выше потребностей того или иного профилирующего турбинных лопаток. Таким образом, осваивать профили турбинных лопаток на станах, диаметр валков которых более 550 – 600 мм, вряд ли рационально, тем как при этом не окупаются затраты на освоение.

При разработке калибровки профилей турбинных лопаток при одинарной прокатке определенные затруднения вызывают выбор конструкции черновых калибров, в которых производится первоначальное формирование профиля с интенсивной неравномерной деформацией по ширине. Как показывает опыт промышленной прокатки профилей турбинных лопаток на станах 250 и 550, а также специальные исследования на лабораторном стане 150, в качестве черновых можно рекомендовать калибры с диагональным расположением разъемов валков. В таких калибрах обеспечивается удовлетворительное центрирование полосы и исключается при правильно выбранном сечении заготовки образование заусенцев в местах разрыва валков. Целесообразность их применения подтверждается и результатами измерения крутящих моментов, которые получаются одинаковыми на нижнем и верхнем валках.

Профили ТС-19990 и СП-381 являются заготовками для четырех типоразмеров направляющих лопаток турбин мощностью 300 и 500 тыс. кВт. Прокатку этих профилей производили (рис. 32) на полупромышленном одноклетевом стане трио 550 из заготовки сечением 80 X 150 мм. Первые два калибра сделаны с диагональным разъемом валков. Калибр 4 является предчистовым для профиля СП-381 и чистовым для ТС-19990. При расчете калибровки коэффициенты деформации определяли по методу соответственной полосы. Остальные размеры калибров находили конструктивно, исходя из условий обеспечения нормального захвата металла валками и удовлетворительного заполнения калибров. Толщина тонкой части готового профиля несколько увеличена, чтобы аккумулировать в ней тепло и уменьшить кривизну полос после остывания. Кроме того, относительное обжатие тонкой части в чистовом калибре больше на 5—7 %, чем толстой части. В результате полоса выходит из валков несколько изогнутой, а после остывания кривизна ее в горизонтальной плоскости соответствует техническим условиям. При опытной прокатке профилей турбинных лопаток из стали 12X13 наблюдали переполнение во всех калибрах, за исключением калибра 2. Уменьшение ширины исходной заготовки с 150 до 140 мм позволило устранить этот недостаток.

Производство профилей турбинных лопаток 31,1 X 95,8 и 36,3 X 113,5 мм повышенной точности из стали 1X11МФ с припуском на механическую обработку 2 мм было освоено (рис. 33) на трехклетевом линейном стане 470 [43].

Схему прокатки разрабатывали применительно к заданным условиям, основными из которых являются характеристики исходного и готового проката и прокатного стана, и из условий получения точного профиля за минимально возможное число проходов с поверхностью хорошего качества и необходимыми механическими

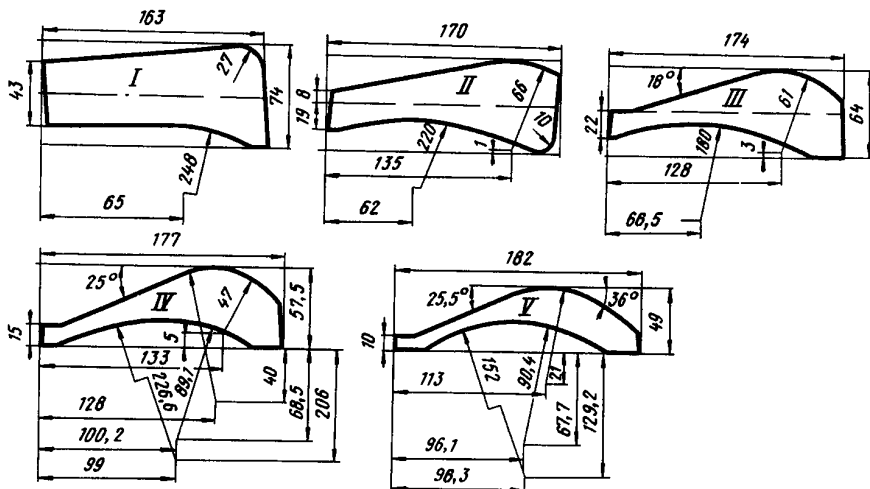


Рис. 32. Калибровке профилей ТС-19990 и СП-381 для турбинных лопаток

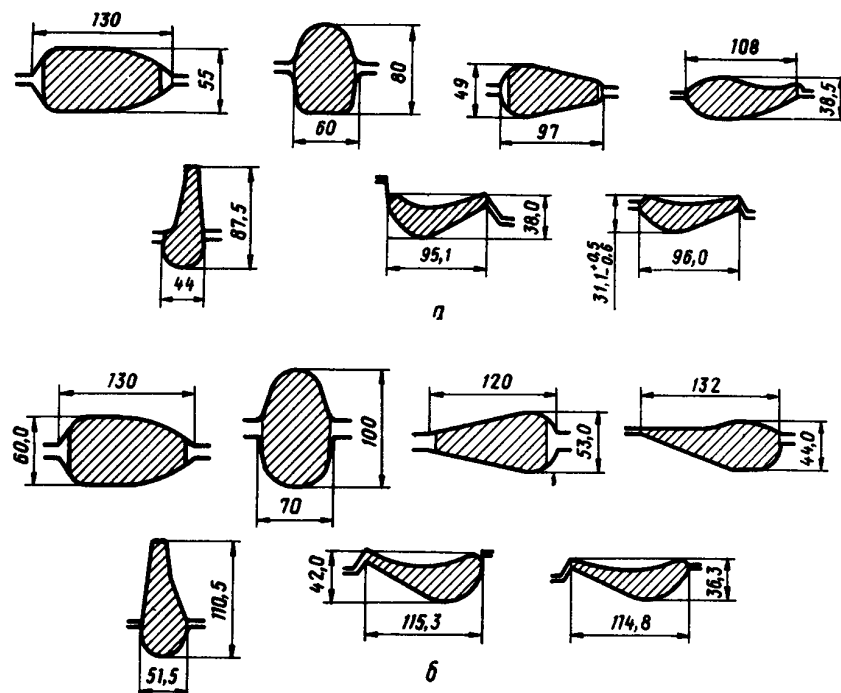


Рис. 33. Схемы прокатки профилей 31,1 X 95,8 мм (а) и 36,3 X 113,5 мм (б) для турбинных лопаток

кими свойствами. Хотя применение калибров открытого типа и способствует удалению окалины с поверхности прокатываемой полосы, но их использование в качестве предчистовых и чистовых калибров при прокатке турбинных лопаток может привести к образованию трещин по быстро охлаждающейся тонкой части. Поэтому целесообразнее открытые калибры чередовать с закрытыми. Такие комбинированные системы калибровок позволяют более полно использовать преимущества калибров и со свободным, и со стесненным уширением.

Для прокатки профилей 31,1 X 95,8 и 36,3 X 113,5 мм была разработана система комбинированных калибров с формированием профилей в предчистовой и чистовой клетях. По среднему коэффициенту вытяжки, равному 1,2, определили количество проходов, степень деформации и площади поперечного сечения полос по проходам. Конфигурацию фасонных калибров вычисляли из условия равномерного относительного обжатия по ширине полосы.

Так как профили турбинных лопаток являются несимметричными, то при их прокатке возникают довольно значительные (до 20—25 % радиальной нагрузки) осевые усилия. Поэтому для компенсации осевых усилий были предусмотрены в открытых фасонных калибрах стана 470 опорные бурты. Кроме того, для уменьшения осевых усилий, приводящих к изгибу и скручиванию полос, было принято такое расположение фасонных калибров в валках, при котором верхние точки тонкой и толстой частей профиля находились на одном уровне относительно горизонтальной плоскости прокатки. В этом случае глубина реза калибра в валки, а следовательно, и разность окружных скоростей валков на отдельных участках профиля получаются незначительными.

При определении размеров промежуточных калибров уширение определяли для толстой и тонкой частей в отдельности, а абсолютные обжатия выбрали из условия одинаковых относительных обжатий по ширине. Для оценки поперечной и продоль-

В связи с тем что после горячей прокатки профили турбинных лопаток обязательно проходят механическую обработку, ручную доводку и шлифовку поверхности, не трахклетовом стане 630/420 применена новая схема производства профилей 3,5 X 21,2 и 4,7 X 41,5 мм для гидропередатчиков тепловозов и турбины ГТТ-3 [45]. Оба этих асимметричных профиля характеризуются большой разницей в толщинах и тонкой и толстой частях, тонкой выходной кромкой (менее 2 мм) и высоким качеством поверхности (6 — 8 класс чистоты). Принятая схема прокатки предусматривает основное формоизменение в горячем состоянии, а окончательное —

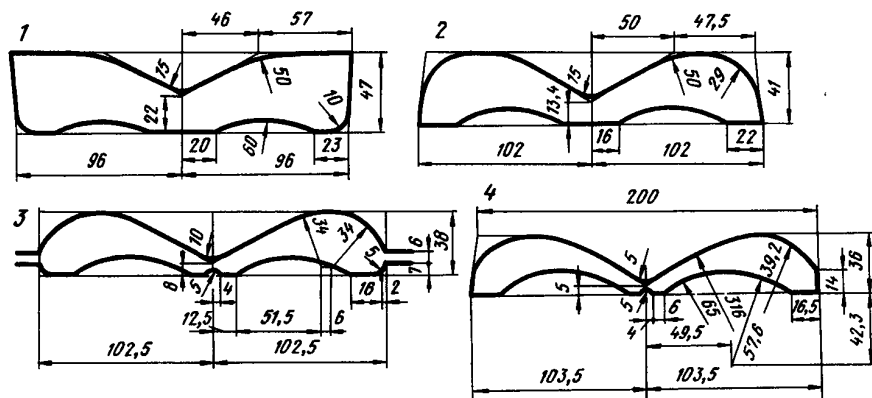


Рис. 34. Калибровка сдвоенного профиля турбинных лопаток СП-702 (исходное сечение 65 X 193 мм)

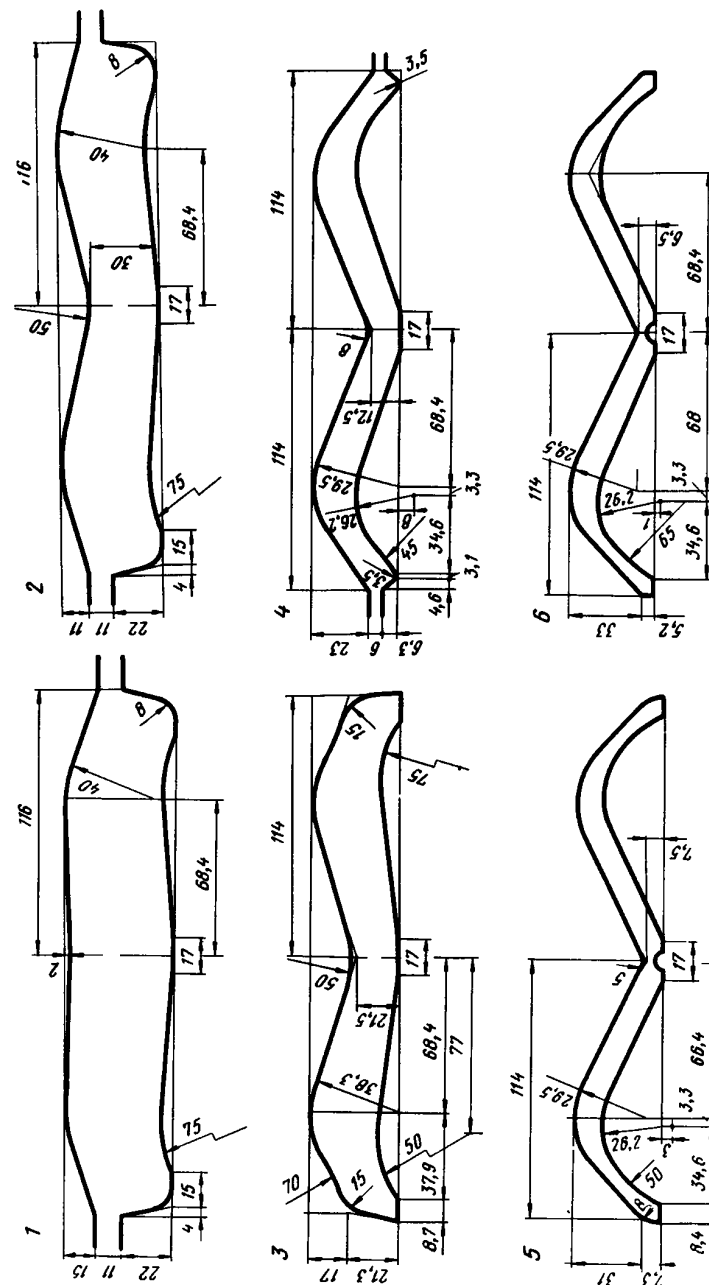


Рис. 35. Калибровка двоянного профиля турбинных лопаток СП-618 (исходное сечение 65X216 мм)

в холодном на бандажированных валках из стали 9Х2 при применении в качестве смазки машинного масла. Профили прокатывают из сталей 12Х13, 20Х13 и др.

Хотя прокатка профилей турбинных лопеток в одином виде и освоена на прокатных станах нашей страны, однако этот процесс вследствие асимметричности профилей является трудоемким. Особенно сказывается на технологичности производства асимметричность относительно вертикальной оси. В результате наблюдается искривление и скручивание полос как при прокатке, так и при остывании на холодильнике, которое очень трудно устранить даже при тщательной настройке стана и соответствующей установке валковой ерматуры.

Между тем прокатке асимметричных профилей турбинных лопеток может быть значительно упрощена, если эти профили прокатывать в сдвоенном виде. При этом профили турбинных лопеток могут быть сдвоены двумя способами, т.е. тонкими или толстыми элементами. Текущая технология прокатки турбинных лопеток в сдвоенном виде не одноклетевом трахвалковом стане 500 с последующей продольной разрезкой у потребителя была разработана [40, 46] для профилей СП-702 и СП-618.

Так как тонкая часть профиля остывает значительно быстрее, то для лучшей аккумуляции тепла профиль СП-702 (рис. 34), был сдвоен тонкими частями. Исходная полоса сечением 60Х193 мм формировалась в рабровом калибре из заготовки 55Х200 мм.

Расчет калибровки производили по методу соответственной полосы. Показатель уширения принимали на основании опытных данных, полученных при освоении других профилеразмеров турбинных лопеток. Нейтральную линию определяли по центру тяжести калибров. Прокатка профиля прошла успешно. Фактические размеры соответствовали расчетным. Дополнительной корректировки калибровки не потребовалось.

Однако в процессе освоения профиля СП-702 был выявлен существенный недостаток метода сдвигания тонкими частями. В связи с тем что деформация металла более значительна посредине полосы, в процесса прокатки образуются на концах раската тек называемые "языки", что приводит к повышенной обрезе.

На том же стане 550 был прокатан [40] профиль турбинных лопеток СП-618, сдвоенный утолщенными частями (рис. 35). При освоении профиля ширине его была меньше расчетной и поэтому потребовалась корректировка размеров калибров 1 и 2 и стабилизация температурного режима прокатки.

Опыт получения профилей турбинных лопеток сдвоенной прокаткой показал высокую технологичность этого способа. При этом повышается производительность стана и стойкость прокатных валков. Сдвигание толстыми частями представляется более предпочтительным, так как обеспечивает лучшую равномерность деформации и надежное заполнение калибров. Сдвоенную прокатку можно также использовать в комбинации с холодной прокаткой.

#### ПРОКАТКА И КАЛИБРОВКА КЛИНОВИДНЫХ ПРОФИЛЕЙ

Полосовые профили клиновидной формы относятся [2] к одной из четырех групп: асимметричные профили, профили клиновидной формы с горизонтальной осью, клиновидные асимметричные профили и асимметричные профили с клиновидными утолщениями. Основной особенностью прокатки полосовых профилей, в том числе и клиновидных, является использование плетовых проходов и в большинстве случаев отсутствие ребровых контрольных калибров. Последнее связано с тем обстоятельством, что наиболее распространены полосовые профили с отношением ширины к высоте  $\geq 5$ , и их прокатка ввиду сравнительно небольших партий производится на станах с линейным расположением клетей. Применение же ребровых калибров не линейных станах приводит к затруднениям, особенно при прокатке крупных профилей, так как связано с кантовками прокатываемых полос. При наличии клетей с вертикальными валками или кантователей, безусловно, целесообразно использовать контрольные ребровые калибры.

Полосовые асимметричные профили не имеют осей симметрии и обычно состоят из участка прямоугольной формы с примыкающим к нему клиновидным участком. При этом клиновидные участки могут быть расположены с обеих сторон профиля.

К группе полосовых асимметричных профилей относят штанцевые профили 25Х6Х2 и 35Х6Х2 мм из инструментальной стали У7, У8, У9, У10, применяемые для изготовления режущего инструмента в кожевенной и обувной промышленности. Эти профили освоены [47, 48] на мелкосортном линейном стане 265. По первоначальному варианту (рис. 36, а) штанцевый профиль 25Х6Х2 мм прокатывали из квадрата 17,7Х17,7 мм в четырех закрытых фасонных калибрах. Основным недостатком калибровки являлась значительная неравномерная деформация по ширине полосы в первом фасонном калибре. Коэффициент обжатия носка полосы ( $h_0/h_1 = 3,54$ ) превышал почти в три раза коэффициент обжатия толстой части ( $h_0/h_1 = 1,26$ ). Это приводило к сваливанию полосы в калибра, ее изгибу и скручиванию. Клиновидная форма калибра 1 обуславливает смещение задаваемой полосы в сторону толстой части. При этом зачастую наблюдали переполнение в раземе калибра с левой стороны, которое приводило к закату. Опасность переполнения с последующим образованием закатов существовала и в остальных калибрах закрытого типа. Наличие сравнительно узкого и острого гребня, образующего скос в калибрах 1 и 3, обусловило применение нижних стальных валков.

В целях совершенствования калибровки, повышения технологичности и сокращения времени на перевалки применили новую схему прокатки (рис. 36, б) из квадратной полосы 15,5Х15,5 мм в двух фасонных калибрах, один из которых (предчистовой) является обычным овальным калибром. Для получения в предчистовом калибре полосы, близкой по форме к готовому профилю, прокатку в нем производят со смещением вводных пропусков в сторону носка профиля. В результате получается так называемый односторонний вел, при прокатке которого в чистовом калибре достигается почти равномерное обжатие по ширине.

С применением калибров простой формы отпала необходимость в специальных валках для штанцевого профиля, сократился парк валков и уменьшились потери времени на перевалку. Наблюдения показали, что износ чистового калибра, несмотря

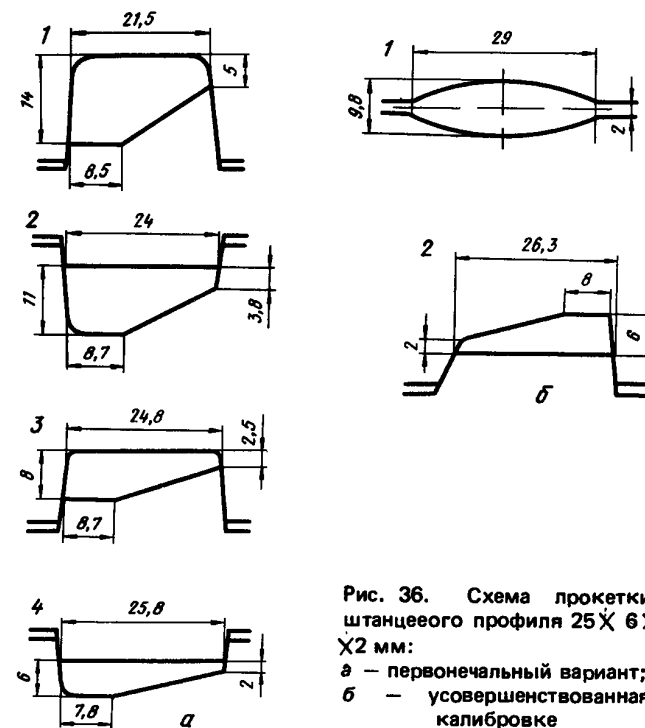


Рис. 36. Схема прокатки штанцевого профиля 25Х6Х2 мм:  
а — первоначальный вариант;  
б — усовершенствованная калибровка

на увеличение коэффициента вытяжки и неравномерности деформации по ширине полосы, почти не изменился. Это объясняется повышением температуры конца прокатки примерно на 40 — 50°C. Производительность стана увеличилась на 15 — 17 %. Аналогичные изменения внесены [48] и в схему прокатки штандового профиля 35X6X2 мм при сокращении числа фасонных калибров с пяти до двух.

Для дальнейшего усовершенствования калибровки штандового профиля 25X6X2 мм была предпринята попытка заменить закрытый чистовой калибр не открытым со свободным уширением. Однако проведенные испытания не дали положительных результатов, так как в открытом клиновидном калибре точная фиксация полосы в поперечном направлении затруднительна и вследствие этого на готовом профиле невозможно соблюдать точные размеры по ширине профиля и толщине носка.

Полосовые профили клиновидной формы с горизонтальной осью симметрии имеют сечение одно- или двустороннего суживающегося клина, или клине с двойным уклоном. Иногда профили этой группы несимметричны.

Прокатка таких профилей обычно сопровождается [49] скручиванием и искривлением в горизонтальной плоскости (серповидным изгибом). На скручивание и серповидный изгиб значительное влияние оказывают разница коэффициентов обжатия по ширине полосы, разность температуры в тонкой и толстой частях, неравномерность износа поверхностей калибров, неодинаковые давления и скорость валков. Предупредить скручивание и серповидный изгиб с помощью соответствующей установки линеек и проводок не всегда оказывается возможным.

Особенно нежелательны скручивание и изгиб на полунепрерывных и непрерывных станах. В этом случае существенно затрудняется задача полос, возникают вынужденные задержки и снижается производительность. На мелкосортных и среднесортных станах скручивание и изгиб меньше сказывается на технологии. Для любых случаев прокатки скручивания и изгиб на готовом профиле не должны превышать допусковых ГОСТом или техническими условиями.

Основные характерные случаи деформации металла в калибрах клиновидной формы, приводящие к серповидному изгибу и скручиванию, рассмотрены в работе [49]. В качестве параметров, вызывающих изгиб и скручивание, приняты коэффициент вытяжки, средняя скорость и разность катающих диаметров нижнего и верхнего валков. Основное влияние на серповидный изгиб оказывают коэффициент вытяжки и средняя скорость валков, скручивание же вызывается разностью катающих диаметров.

Нейболее сложными среди клиновидных профилей являются асимметричные профили, которые состоят из участков, имеющих форму прямоугольников, трапеций, параллелограммов, расположенных параллельно или под некоторым углом относительно друг друга.

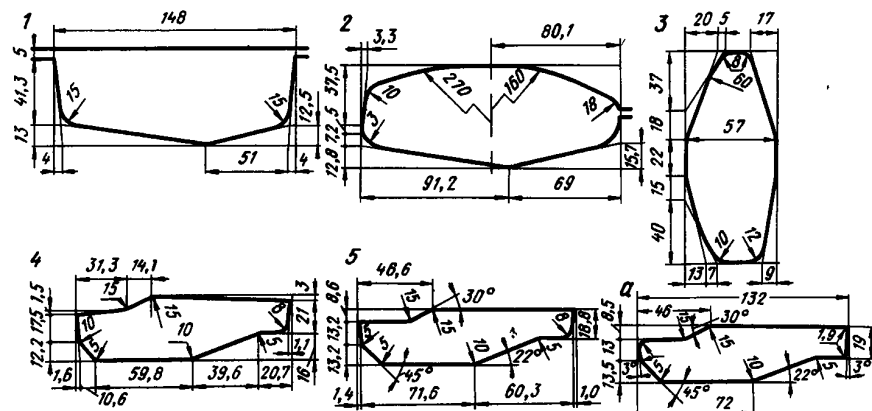


Рис. 37. Калибровка асимметричного клиновидного профиля 35 X 132 мм (а — готовый профиль)

В работе [50] рассмотрена методика расчета калибровки асимметричного профиля 35 X 132 мм (рис. 37, а), освоенного на линейном четырехклетевом стане 500. Характерными особенностями профиля 35 X 132 мм являются значительная разница в толщине боковых кромок, утолщение срединной части и скос на правой кромке профиля под углом 45° с обязательным выполнением угла в 3° над скосом.

При разработке калибровки были рассмотрены различные варианты схем прокатки. Принятая первоначально схема прокатки с чередующимися разрезами калибров оказалась неудачной. В чистовом калибре разъемы были выполнены сверху, а предчистовой калибр принят полузакрытым с левой стороны. При такой форме предчистового калибра необходим специальный шаблон для контроля степени заполнения калибра в процессе прокатки. В схеме были предусмотрены два контрольных ребровых калибра, применение которых требует кантовок полосы и вызывает снижение производительности стана.

Более совершенной схемой прокатки является схема с одним контрольным калибром (рис. 37). В предчистовом и чистовом калибрах разъем выполнен в одну и ту же сторону. Такая конструкция двух последних калибров встречается и при прокатке других профилей [51] и дает хорошие результаты. В связи с одинаковым разрезом в последних двух калибрах необходимо точно определить степень заполнения предчистового калибра, так как иначе конфигурация профиля может не соответствовать техническим условиям. Настройке стана по данной схеме достаточно проста, так как по существу имеются только два калибра сложной формы (калибры 4 и 5).

Оба рассмотренные схемы с точки зрения получения профиля не являются совершенными. Ребровой контрольный калибр более целесообразно располагать перед чистовым калибром. Однако стан 500 состоит из трех трехвалковых клетей. Поэтому, если контрольным сделать предчистовой калибр, то он будет располагаться в среднем и верхнем валках. Но тогда неудобно и затруднительно не только кантовка полосы, но и задача полосы в контрольный калибр. Вследствие этого для трехвалковых клетей линейных станов контрольные ребровые калибры для полосовых профилей обычно располагают в нижнем и среднем валках, что обеспечивает удобство в работе и рациональность технологии прокатки. На современных станах с двухвалковыми клетями последний по ходу прокатки контрольный калибр размещается, как правило, перед чистовым калибром.

При проектировании калибровки профиля 35X132 мм использовали графоаналитический метод, заключающийся в определении параметров деформации металла в калибре и графическом построении последовательных вертикальных сечений очага деформации при одинаковой деформации по ширине раската.

Для упрощения графического построения вычерчивали совмещенные сечения очагов деформации, проведенные на входе металла в валки и выходе металла из валков. С целью увеличения точности расчетов каждый фасонный калибр был разделен на несколько характерных элементов. На рис. 38 приведена диаграмма коэффициентов вытяжки участков и фактических коэффициентов вытяжки в чистовом а и предчистовом б калибрах, которые разбиты на шесть элементов. В остальных калибрах количество элементов меньше (три элемента в калибре 1 и четыре элемента в калибре 2).

Методика расчета калибровки заключается в следующем. По известным площадям элементов калибра и по выбранному коэффициенту вытяжки в калибре определяют сечение полосы, коэффициенты вытяжки элементов которой при прокатке в данном калибре были бы постоянными. С этой целью на базовом контуре, за который в чистовом и предчистовом калибрах принимают конфигурацию нижней части профиля, строят соответствующие геометрические фигуры с расчетными площадями. Определенная таким образом конфигурация условной полосы, поступающей в калибр, является основой при построении следующего калибра по ходу расчета, который, как и обычно, производят против хода прокатки. При расчете предчистового калибра его центральная часть (элементы III и IV) несколько увеличивается относительно соответствующих элементов условной (задаваемой) полосы, что обеспечивает первоначальную деформацию ее центральной части. При этом внеконтактные зоны,

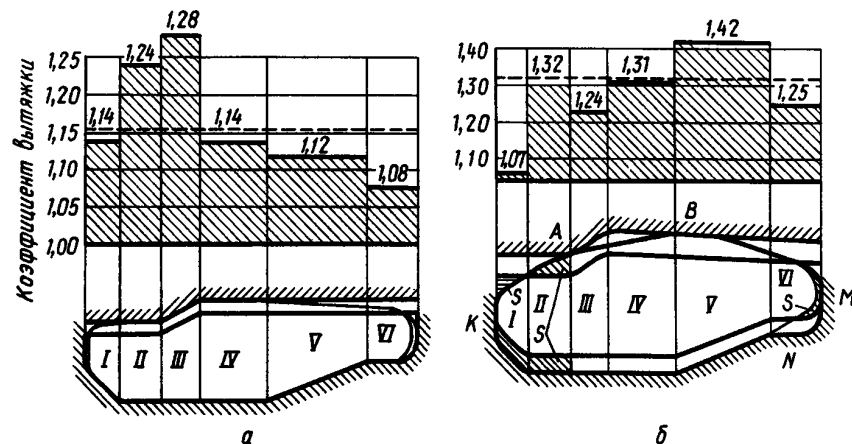


Рис. 38. Диеграмма коэффициентов вытяжки отдельных элементов и фактических коэффициентов вытяжки в чистовом (а) и предчистовом (б) калибрах

сдерживая продольную деформацию центральной части, способствуют их поперечной деформации, которая происходит до момента касания всей поверхности элементов III и IV.

Так как в чистовом калибре поперечная деформация элементов III, IV и V сдерживается подпирющими силами, возникающими на соответствующих скосах калибра, то для упрощения принимают, что общее уширение полосы зависит от уширения крайних элементов (I и II с одной стороны и IV — с другой). Уширение рассчитывают по формуле С.И.Губкина с уточнениями В.С.Смирнова [4]. Для элемента VI в чистовом калибре оно равно 1,2 мм. Уширение элементов I и II было принято 0,65 от уширения элемента VI. Общее уширение в чистовом калибре составило 2 мм.

Правильное заполнение чистового калибра регулируют соответствующей настройкой стана. Принятое увеличение центральной части задаваемой полосы по сравнению с условной расчетной полосой предопределяет более плавный контур калибра, приближая его по форме к обычному овальному калибру.

Для получения точного профиля необходимо также и правильное заполнение предчистового калибра. С этой целью по принятой схеме перед предчистовым предусматривают ребровой контрольный калибр, в котором не только регулируется ширина полосы, но и формируются ее кромки. При этом форма полосы, задаваемой в контрольный калибр, может значительно отличаться от формы калибра, приближаясь к овалу. Однако для обеспечения устойчивости полосы в калибре нижний контур овального калибра 3 выполнен под углом  $159^{\circ}10'$ , а верхний спроектирован таким образом, чтобы в момент захвата в предчистовом калибре верхний валок касался полосы в точках А и В (рис. 38, б). В процессе прокатки полосы в предчистовом калибре элементы калибра в точках А и В, вдавливаясь в металл, обуславливают продольную и поперечную деформации. Причем поперечной деформации металл подвергается только в месте контакта. Боковая часть К и верхняя часть калибра (рис. 38, б), выполненные с уклоном  $2^{\circ}40'$ , препятствуют уширению элементов I и II.

Границы заполнения предчистового калибра определяют по величине смещенной площади. При расчете ее принимают, что элементы III, IV и V не влияют на поперечную деформацию участков I и II. Поэтому смещенную площадь  $S_b$ , идущую на уширение, определяют как часть площади  $S_h$ , подвергающейся высотной деформации. Коэффициент смещения, равный отношению  $S_b/S_h$ , находят на основании анализа практических калибровок подобных профилей. Для данной калибровки после корректировки он равен 0,24 и калибр в этом месте заполняется нормально.

Размеры ребрового контрольного калибра определяют конструктивно таким образом, чтобы обеспечить получение из него полосы требуемой конфигурации. Форму овального калибра 2 выбирают из условия захвата в ребровом калибре 3 только по его дну для устранения защемления полосы. Относительное обжатие в ребровом калибре не рекомендуют принимать более 15 %.

Анализ темплетов показал, что фактическое заполнение чистового калибра совпадает с расчетным. Распределение коэффициентов вытяжки по ширине полосы (рис. 38, а) несколько отличается от расчетного из-за перекаса валков в сторону тонкой части профиля при нестройке стана.

Профиль для сит отсадочных машин (рис. 39, а) несколько напоминает по форме клиновидный профиль  $35 \times 132$  мм. Особенностью профиля является несимметричность сечения, обусловленная большой разностью высот левой и правой частей. Профиль прокатывают [52] на линейном стане 250 в пяти фасонных калибрах из полосы сечением  $16 \times 40$  мм. Суммарный коэффициент высотного обжатия для клеток II, III и V в сечении А—А (рис. 39, а) составляет 5,5, а в сечениях В—В и Г—Г соответственно 2,3 и 2,7. Такая значительная неравномерность деформации может привести к серпению и скручиванию полосы при прокатке.

Чтобы уменьшить влияние разницы в относительных удлинениях левой и правой частей профиля на процесс прокатки, были приняты увеличенные обжатия во всех пластовых калибрах, включая чистовой. Наибольшая разность коэффициентов обжатия предусмотрена в калибрах клеток II и III; в чистовом калибре деформация практически равномерна по всем элементам профиля.

Для обеспечения надежного контроля ширины профиля имеется два ребровых калибра, наличие которых в сочетании с чередованием резцов в закрытых калибрах обеспечивает качественную поверхность кромок.

Профиль для диффузионных ножей был прокатан на линейном среднесортном стане 450 из инструментальной стали У7. Исходная заготовка имела сечение  $80 \times 80$  мм; профиль — сравнительно простой формы. Поэтому создается впечатление, что схема прокатки в сами фасонных калибрах (рис. 40) может быть упрощена.

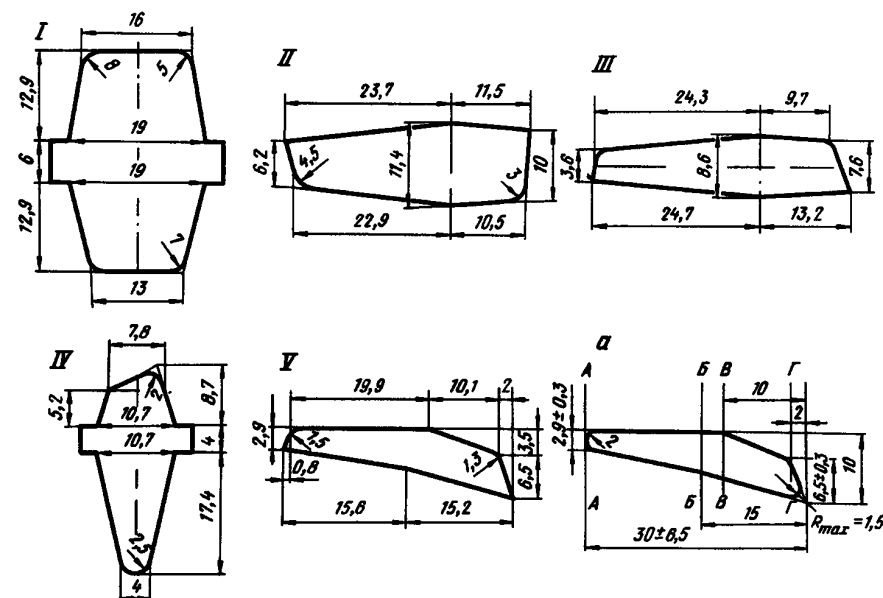


Рис. 39. Калибровка профиля для сит отсадочных машин (а — готовый профиль)



Однако анализ калибровки [49] подтверждает целесообразность принятой схемы. Во-первых, калибром желательнее придать текущую форму и так их расположить в валках, чтобы обеспечить примерно одинаковую разность катающих диаметров по краям профиля. В прадчиковом и чистовом калибрах это достигается расположением калибров под некоторым углом к оси валков, а в предыдущих по ходу прокатки калибрах — изгибом тонкой (правой) части при горизонтальном расположении калибров. При этом промежуточные калибры имеют форму, подобную развернутым угловым калибрам. Такая форма позволяет уменьшить влияние несимметричности и разнотолщинности профиля и препятствует перемещению металла из тонкой правой части в утолщенную левую часть, и, кроме того, уменьшаются осевые усилия, что благоприятно сказывается на работе опорных конусов и способствует стабильности настройки стана.

В средней части всех черновых калибров (рис. 40) сохраняются впадины и выступы, имеющиеся не готовом профиле. В результате меньше скреывается неравномерность износа калибров, создаются благоприятные условия для центрирования полосы, улучшается захват полосы валками и отпадает необходимость в точной установке вводной валковой арматуры. Устойчивой прокатке профиля для диффу-

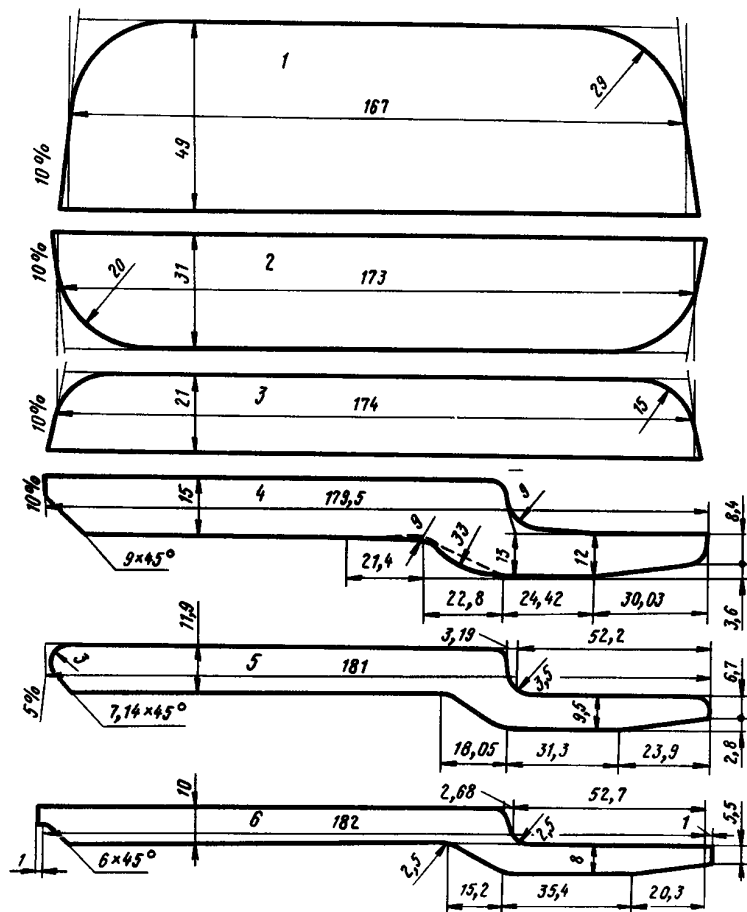


Рис. 41. Калибровка профиля для деталей решетки

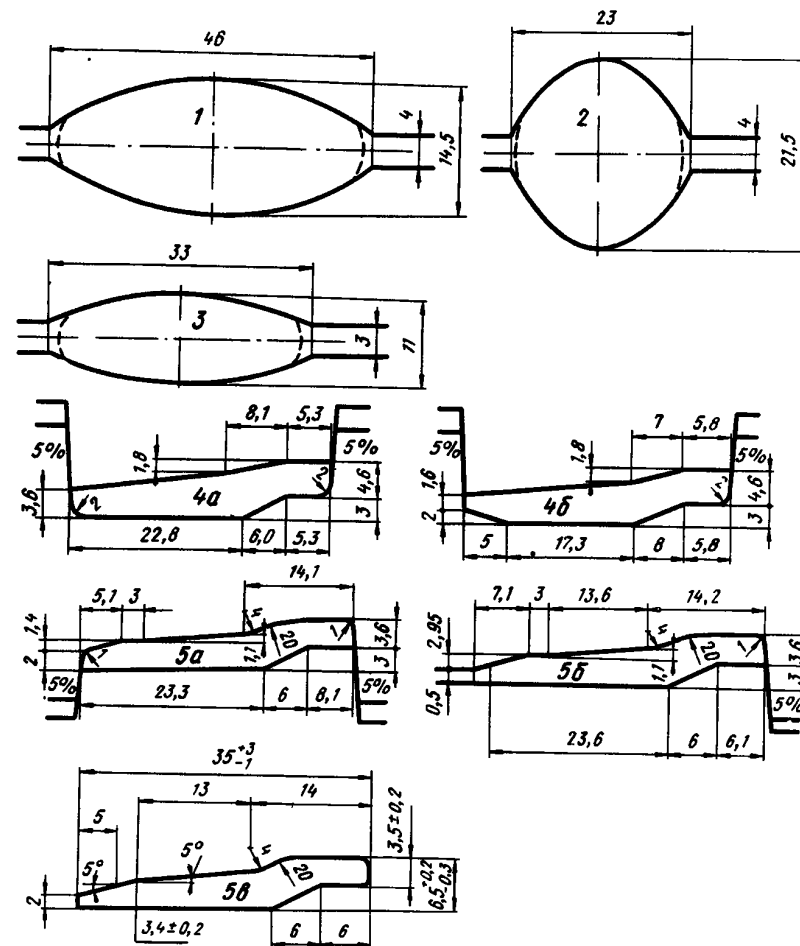


Рис. 42. Калибровка унифицированного профиля посадочного кольца 35X6,5 мм:  
а — вариант I; б — вариант II; в — готовый профиль

зионных ножей способствует высокая степень высотной деформации, которая приводит к выравниванию коэффициентов вытяжки по сечению и уменьшает влияние разницы скоростей и катающих диаметров. В то же время повышенная деформация в последних по ходу прокатки калибрах вызывает быстрый износ поверхности калибров и опорных конусов, что предопределяет частую смену калибров и постоянную настройку стана. Вследствие этого, применение повышенных коэффициентов высотной деформации следует сочетать с приемами, ослабляющими действие таких факторов, как асимметрия профиля и разность катающих диаметров и скоростей.

Представляет интерес калибровка (рис. 41) профиля 180X10XB мм для деталей решетки, освоенного [53] на трехклетевом линейном стане 585 из стали 30Г; исходная полоса имела сечение 21X174 мм. При разработке калибровки было принято минимально возможное число фасонных калибров. Так как чистовой калибр открытого типа и при этом отсутствует глубокий врез в валки, то оказалось целесообразным использовать валки с отбеленным рабочим слоем. Коэффициенты вытяжки в калибрах 4, 5 и 6 равны соответственно 1,39; 1,27 и 1,19.

Калибровка чарновых калибров 1, 2 и 3 аналогична калибровке полосы шириной 180 мм. Различие заключается лишь в уменьшении на 1,75 – 3,0 мм ширины калибров и увеличении на 8 – 10 мм радиусов закруглений углов, что препятствует пераполнению фасонного калибра 4, в котором принято неравномерное распределение коэффициентов вытяжки по элементам профиля. В калибрах 5 и 6 коэффициенты вытяжки по элементам профиля одинаковы.

При первой опытной прокатке профиль для деталей решетак был получен в соответствии с техническими условиями. Наблюдали лишь незначительное незаполнение углы при вершине в верхней части профиля. После опытной прокатки провели корректировку калибра 4 с добавлением ложного фланца с радиусом 33 мм. Скручивание и сарпение полос при прокатке отсутствует.

Унифицированный профиль из стали 45 для посадочного кольца колес автомобилей ЗИЛ-130 и КамАЗ-5320 представляет в поперечном сечении асимметричную клиновидную полосу (рис. 42, в). Исходная заготовка имела круглое сечение диаметром 30 мм.

Для прокатки профиля посадочного кольца на полупромышленном стане 300 были разработаны два варианта калибровки из заготовки диаметром 21 мм.

При испытании калибровки по варианту I (рис. 42, а) профиль был получен в соответствии с техническими условиями. Однако в то же время был выявлен и недостаток калибровки, так как толщина тонкой левой кромки профиля получалась близкой к предельной величине вследствие местного упругого сплющивания соответствующего участка нижнего вала в чистовом калибре.

По варианту II (рис. 42, б) в чистовом калибре обжатие тонкой кромки значительно меньше. Кроме того, калибр со стороны тонкой кромки сделан открытым, что увеличило участок упругого сплющивания и уменьшило его величину.

Опытная партия профиля посадочного кольца прокатана по второму варианту калибровки (рис. 42, б) и отгружена потребителю.

## ПРОКАТКА ПРОФИЛЕЙ ДЛЯ ЛЕМЕШНЫХ ПОЛОС

Профили для лемешных полос обычно имеют асимметричную форму с клиновидными утолщениями, которые могут быть выполнены в виде периодических выступов (магазинов).

Прокатка профилей лемешных полос с переменным сечением по длине полосы впервые была осуществлена [54] в 1949 г. на четырехклетевом линейном стане 500. Внезапно освоили прокатку лемешной полосы 132Д с шагом между местными утолщениями 590<sup>±40</sup> и 515<sup>±40</sup> мм. В 1954 г. была освоена прокатка новых более сложных лемешных полос 149Д X 570 мм из заготовки 180 X 180 мм.

Тем не менее получение готового профиля лемешной полосы в пределах допусков и заданной длины периода может быть выполнено только в одном чистовом калибре, то при разработке калибровки наиболее важным этапом расчета является определение конфигурации и размеров прадчистового калибра. В чистовом калибре приходится предусматривать резко выраженный неравномерный режим обжатия. Тем, в сечении наибольшей высоты чистового калибра (в сечении местного утолщения) был принят коэффициент обжатия 1,07; в сечении на участке между утолщениями – 2,52, а в месте образования лезвия (на кеневке) – 2,8. Неравномерность высотной деформации по ширине и длине полосы приводит, как правило, к ударным динамическим нагрузкам на детали линии стане. При прокатке лемешной полосы 149Д усилие в чистовом калибре изменяется на одной полосе от 118 до 147 т семь раз в секунду [55].

Местная кривизна готового профиля по полотну является одним из основных дефектов. Для более равномерной деформации в чистовом калибре по сечению и по длине необходимо уменьшить в прадчистовом калибре высоту клиновидного выступа, исходя из размеров магазина готового профиля.

В первом варианте калибровки лемешной полосы 149Д высота выступа в прадчистовом калибре составляла 13 мм. При корректировке на основании анализа результатов опытной прокатки вершина выступа уменьшена на 3 мм. Дальнейшее

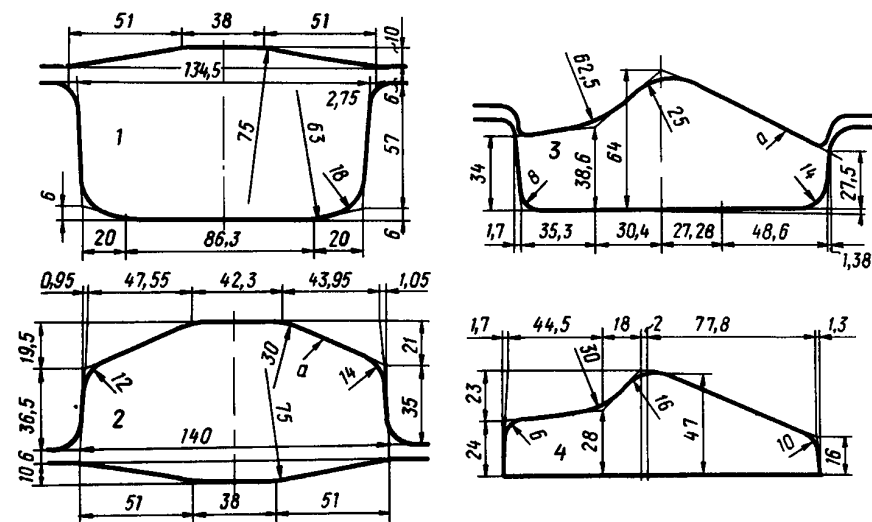


Рис. 43. Калибровка лемешной полосы 149Д (а – стороне лезвия)

уменьшение выступа не представляется возможным, так как размеры готового профиля могут выйти из допускаемых отклонений.

Конструкция фасонных калибров 1, 2 и 3 по варианту I оказалась неудачной. В местах разъемов при изменении температуры полос наблюдалось образование лемпасов, которые приводили к закету на тыльной части стенки готового профиля. Окончательные размеры калибров 1, 2, 3 и прадчистового калибра 4 приведены на рис. 43. При прокатке установлено, что величина опережения в чистовом калибре составляет 5,0 – 5,5 %. Поэтому средний диаметр вновь изготовленных валков для профиля 149Д X 570<sup>±30</sup> принят равным 564 мм, а для профиля 149Д X X 495<sup>±30</sup> – 493 мм. В процессе переточек допускается уменьшение диаметра на 17 мм.

Отдельные калибровки профилей лемешной стали приведены в [2, 40, 56, 57]. Кроме лемешных профилей с клиновидными утолщениями не ряде металлургических заводов прокатывают полосовые профили для ножей различных дорожных машин, скреперов, бульдозеров и т.д. Профили этого типа представляют собой полосу со специальными утолщениями, утонениями или скошенными кромками.

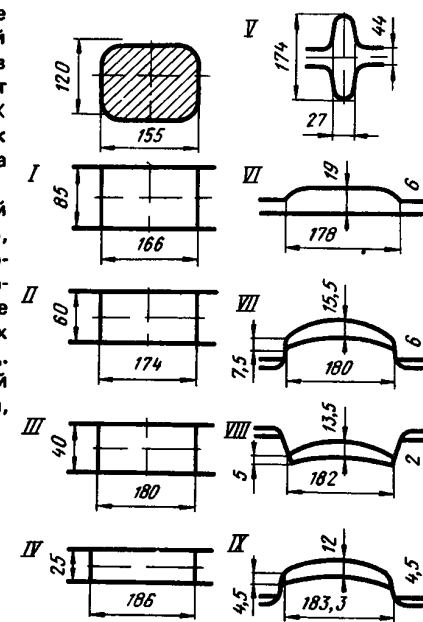


Рис. 44. Схема прокатки ножевой стали 180X12X6 мм

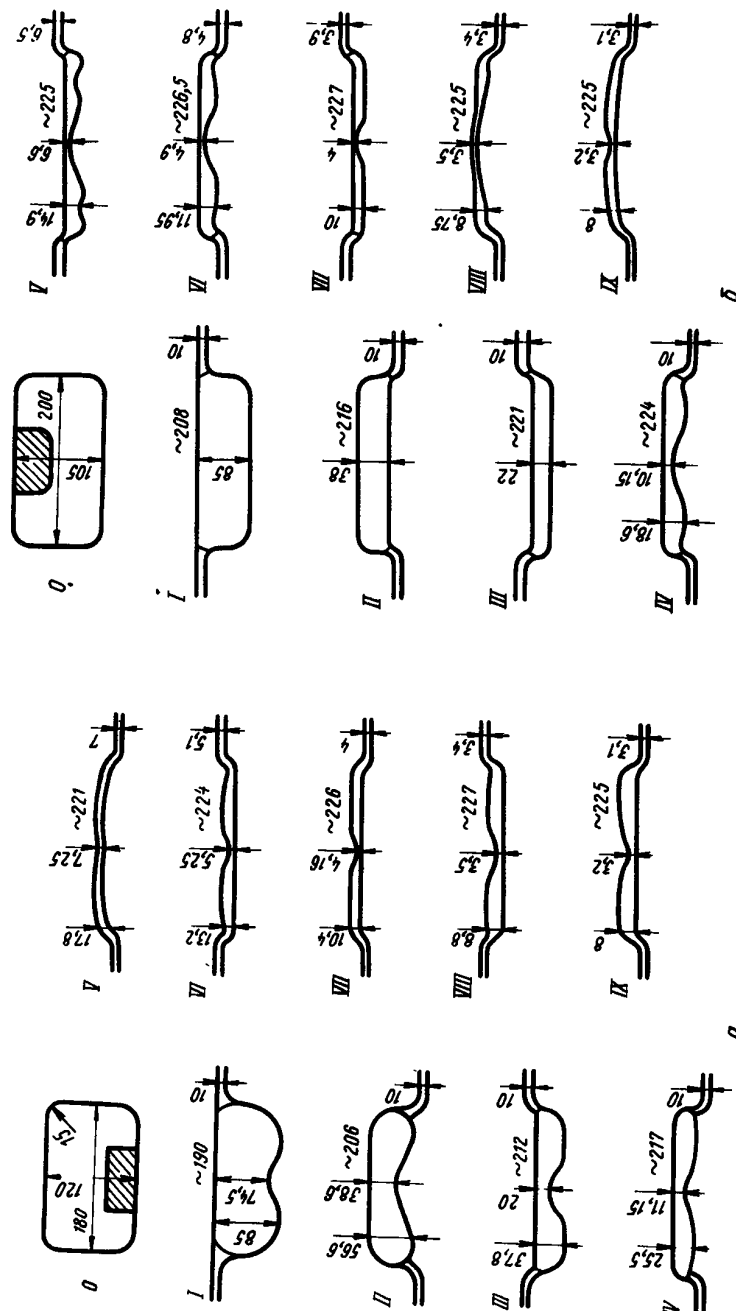


Рис. 45. Схема прокатки двухслойного лемешного профиля с разрезкой по твердому (а) и мягкому (б) слою

На девятиклетовом стане 500 прокатывают [ 58] полосовые желобочные профили 180X18X6 мм и 180X12X6 мм из стали 65Г для ламахов автогрейдеров. Допускаемые отклонения по ширине составляют  $-2,0 \div 4,0$  мм, по толщине  $\pm 0,8$  мм и по кромкам профиля  $+1,0 \div 2,0$  мм. При проектировании калибровки профиля 180X12X6 мм были рассмотрены две типовые схемы: прокатка в открытых калибрах со свободным уширением и в закрытых калибрах со стесненным уширением. Для условий стана 500 приняли вторую схему (рис. 44), обеспечивающую легкость настройки стана, стабильность прокатки и точность размеров готового профиля.

Выбор общих и частных коэффициентов деформации производили на основании практических данных с учетом следующих положений:

- а) наибольшая неравномерность деформации по ширине профиля осуществляется в первом фасонном калибре;
- б) по мере приближения к чистовому калибру разница между коэффициентами обжатия по краям и средней частью профиля уменьшается;
- в) в чистовом калибре величина коэффициентов обжатия по краям и середине профиля принимают одинаковыми;
- д) свободное уширение рассчитывают по формуле (1). В закрытых калибрах уширение принимают равным 0,7 – 0,8 от свободного.

По аналогичной схеме был прокатан также и профиль 180X18X7 мм; отклонения фактических значений параметров прокатки от расчетных незначительны. Выход первого сорта составил 99,5 %, средняя производительность 105 т/ч.

При изготовлении профилей для ламахов из углеродистой стали происходит значительный и быстрый износ ламахов в процессе их работы. Наплавка ламахов твердыми сплавами сравнительно трудоемка. Поэтому представляется интерес исследование [ 59] по производству двухслойного фасонного профиля с плакирующим слоем из износостойкой стали ледебуритного класса. При отливке слитков за основу был принят метод литого плакирования.

Прокатку двухслойной лемашной полосы вали на девятиклетовом стане 500 по двум вариантам калибровки (рис. 45). Разнотолщинность плакирующего слоя по ширине полосы при разрезке по твердому слою (рис. 45, а) составляла 0,9 – 2,5 мм, а по мягкому слою (рис. 45, б) – 1,2 – 2,0 мм. Поэтому второй вариант калибровки является более рациональным. Полученные двухслойные профили ламахов соответствовали необходимым требованиям по геометрии и качеству поверхности. Во время государственных полых испытаний ламахов из двухслойной стали срок службы их был в 3 – 4 раза выше, чем у обычных ламахов.

## ПОЛОСОВЫЕ И УГЛОВЫЕ ПРОФИЛИ

В машиностроении применяют много различных профилеразмеров полосовых профилей. Для большинства полосовых профилей отраслевого назначения характерным является повышенное отношение ширины к толщине, наличие полотно прямоугольного или плавно изменяющегося сечения. К полосовым относят также профили, имеющие в средней части утолщения или выступы небольшой высоты по сравнению с их шириной. Калибровки различных полосовых профилей приведены в работах [ 2, 40].

Полосовые Т-образные профили находят широкое применение в электротехническом и станкостроительном машиностроении и прокатывают на специализированных мелкоклетовых непрерывных станах. Исходная заготовка имеет круглое сечение и нагрет ее осуществляют в индукционных печах.

При использовании исходной заготовки круглого сечения при прокатке Т-образных полосовых профилей на мелкоклетовых станах важное значение имеет определение заполнения первого формирующего калибра.

Экспериментальные исследования при формоизменении заготовок круглого сечения в Т-образных калибрах были проведены [ 60] на полупромышленном двухклетовом стане 300. В соответствии с техническими возможностями стана 300 и на основании анализа сортамента и калибровок Т-образных профилей была выбрана область изменения геометрических параметров (рис. 46):  $d = 30 \div 70$  мм;  $H_1 =$

$= 20 \div 35 \text{ мм}; h_1 = 10 \div 25 \text{ мм}; b_1 = 30 \div 55 \text{ мм}; D_{\text{ср}} = 280 \text{ мм}$ , где  $D_{\text{ср}} = 0,5(D_H - D_b)$ .

Пленируемый эксперимент проводили по ортогональному нейтральному композиционному плану для четырех факторов  $m_1, m_2, m_3, m_4$ :  $m_1 = d/H_1$ ;  $m_2 = h_1/H_1$ ;  $m_3 = b_1/H_1$ ;  $m_4 = D_{\text{ср}}/H_1$  с областью изменения  $m_1 = 1,617 \div 2,183$ ;  $m_2 = 0,451 \div 0,699$ ;  $m_3 = 1,444 \div 1,656$ ;  $m_4 = 8,865 \div 12,673$  полного факторного эксперимента  $2^4$  для линейных моделей.

При определении расчетных формул для коэффициента уширения  $\Delta B/\Delta h = (B_1 - d)/(d - H_1)$  и коэффициента вытяжки  $\lambda$  была проведена проверка адекватности линейных моделей.

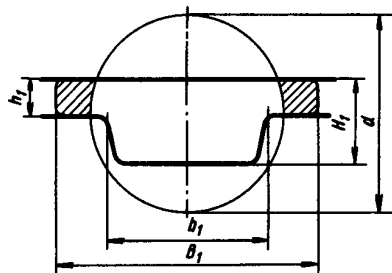


Рис. 46. Схема формоизменения заготовки круглого сечения в Т-образном формирующем калибре

В процессе обработки полученных данных проварены воспроизводимость опытов по критерию Кохрена при 5 % значимости, значимость коэффициентов по критерию Стюдента при доверительной вероятности 0,95 и адекватность моделей по критерию Фишера при 5 % уровня значимости [61]. В результате проверки получено, что дисперсии однородны и линейные модели адекватны. После отбрасывания незначимых членов. Уравнения для определения  $\Delta B/\Delta h$  и  $\lambda$  имеют вид:

$$\Delta B/\Delta h = 0,1593 + 1,1743 d/H_1 - 0,5143 h_1/H_1 - 1,2451 b_1/H_1 + 0,0188 D_{\text{ср}}/H_1 - 1,3681 d h_1/H_1^2 + 1,8489 h_1 b_1/H_1^2;$$

$$\lambda = 0,6756 + 0,7156 d/H_1 - 0,3621 h_1/H_1 - 0,166 b_1/H_1 - 0,0087 D_{\text{ср}}/H_1.$$

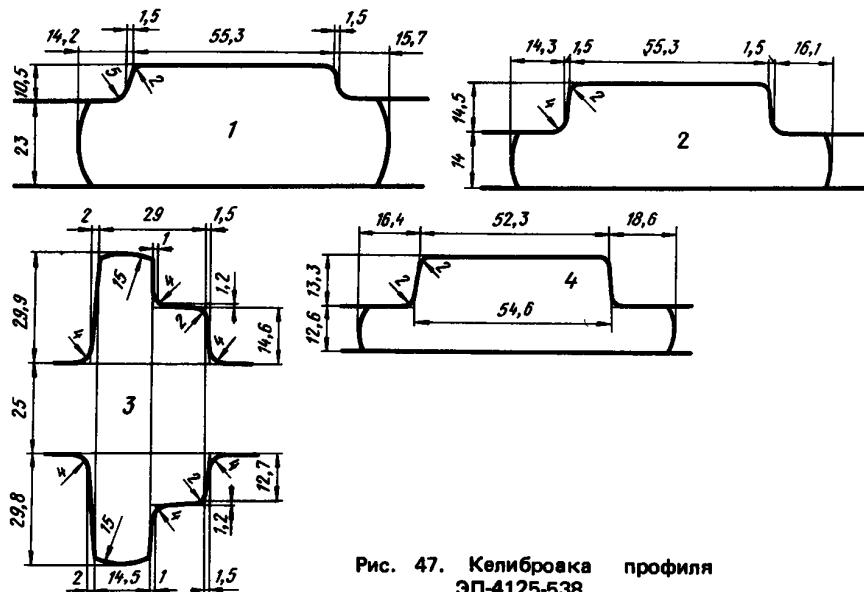


Рис. 47. Калибровка профиля ЗП-4125-538

Формулы были использованы при расчете калибровок Т-образных профилей ЗП-4124-537 и ЗП-4125-538 (рис. 47), освоение которых проведено на полупромышленном стане 300. Расчет калибров 2, 3 и 4 выполнен в соответствии с работой [62].

Прокатываемые на мелкосортном стане 250 профили 16X12 мм и 14X12 мм для кольца стартера отличаются от обычной полосовой стали небольшим соотношением ширины к толщине, которое составляет 1,33 для профиля 16X12 мм и 1,17 для профиля 14X12 мм. Кроме того, к профилям для кольца стартера предъявляют довольно жесткие требования по предельным отклонениям размеров (+1,0 мм по ширине и +0,6 мм по толщине) и углов и почти полному отсутствию закругления углов.

Принятая на стане 250 схема прокатки профилей 16X12 и 14X12 мм (квадрат с закругленными углами — гладкая бочка — гладкая бочка с выпуклостью — ребровой предчистовой калибр — гладкая бочка) обеспечивает надежную регулировку размеров и хорошую обработку углов.

При проектировании калибровки профилей 16X12 и 14X12 мм исключительно важное значение имеет конструкция предчистовых ребровых калибров, которые вследствие небольшой ширины профилей имеют незначительный врез в валки. Ребровые калибры не должны иметь уклонов боковых граней, так как в этом случае полоса в калибре удерживается только углами дна калибра и по углам полосы образуются местные утолщения, которые могут быть причиной искажения сечения готового профиля. Поэтому уклон боковых граней в предчистовых калибрах принят минимальным и равным 3,8 % для профиля 16X12 мм и 4,5 % для профиля 14X12 мм.

Основная трудность при прокатке профилей 16X12 и 14X12 мм заключается в соблюдении прямых углов между смежными гранями. Отклонения от прямых углов обычно называют косиной и причиной его является незаполнение или переполнение ребрового калибра.

Профили угловой формы для верхнего и нижнего колец поворотного круга автоприцепа прокатывают [63] из стали 35 на линейном трахлетевом стане 550.

С точки зрения прокатки и калибровки профили для колец поворотного круга автоприцепа имеют следующие недостатки: а) отсутствия симметрии; б) значительная толщина полок, затрудняющая получение острого угла при вершине и ровных торцевых поверхностей полок; в) различная конфигурация и толщина полок у профиля для верхнего кольца поворотного круга, что даже при одинаковых коэффициентах обжатия полок приводит к скручиванию полос при отклонении от схемы прокатки.

Так как профили для колец поворотного круга представляют собой угловую сталь сложной формы, то для расчета калибровки был применен метод Б.П.Бахтинова и М.М.Штернова [3]. С учетом опыта прокатки обычной угловой стали произвели для профиля верхнего кольца некоторое перераспределение уширения, увеличив при этом в развернутых калибрах длину короткой полки за счет длинной.

В процессе освоения производства профиля для верхнего кольца поворотного круга автоприцепа в отдельных калибрах происходило переполнение с образованием заусенцев. Кроме того, наблюдалось незаполнение угла при вершине, который получался закругленным радиусом 4–5 мм вследствие большой толщины полок и малых коэффициентов обжатия в месте их соединения. После корректировки калибровки (изменения радиусов закруглений на концах полок в развернутых калибрах, увеличения обжатия по углу профиля) эти недостатки были устранены.

Для профиля нижнего кольца поворотного круга (рис. 48, а) применили также развернутые калибры, так как при прокатке без изгиба полок невозможно менять направление разъемов калибров, в применение кантовок нежелательно из-за отсутствия на стане кантовочных устройств.

При разработке калибровки профиля верхнего кольца выбору конструкции развернутых калибров с разъемом сверху значительно препятствует наличие скоса наружной поверхности конца толстой полки размерами 13X14,5 мм. В результате на верхнем вальке получается тонкий клиновидный гребень, соответствующий скосу.

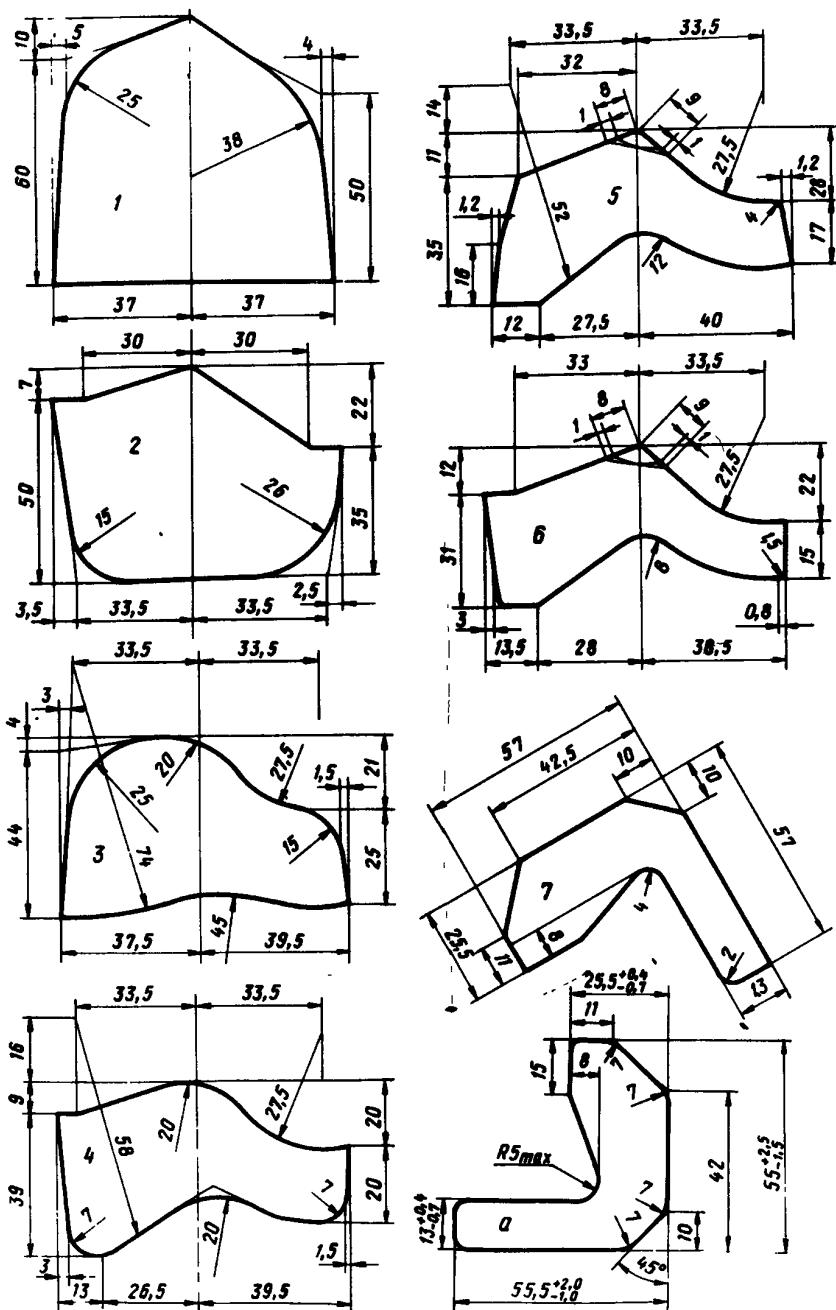


Рис. 48. Калибровка профиля для нижнего кольца поворотного круга (а — готовый профиль)

Так как валки изготавливают из полутвердого магниевого чугуна, то при задаче полос будет происходить скелывание этого гребня.

Примененные вначале при первом освоении калибры 4 и 6 полузакрытого типа для более толстой полки оказались непригодными, так как в процессе прокатки в местах разреза толстой полки получалось значительное переполнение с образованием лампас. Уменьшение обжатия и осевое смещение валков в первом полузакрытом калибре 4 не устраняли этого дефекта, а только приводили к образованию заусенцев на конце тонкой полки в последующем по ходу прокатки калибре 5. Кроме того, небольшое обжатие полок в полузакрытом предчистовом калибре 6 при прокатке полосы вызывало за счет обжатия по углу опережение верхним валком линии стана и сильные удары при выходе полосы, так как основное обжатие приходилось на место соединения полок, где катающие диаметры верхнего валка малы по сравнению с диаметрами нижнего валка. Это являлось разуплотнением того, что нижний валок за счет больших диаметров в месте соединения полок увлек за собой через полосу верхний валок, а в момент выхода полосы верхний валок мгновенно останавливался.

Переполнение (лампас) в полузакрытых калибрах 4 и 6 обуславливается клиновидной формой толстой полки и даже при незначительных высотных обжатиях происходит перетекание металла в разъем калибра, что способствует скручиванию полос и затрудняет работу вальцовщика. Поэтому после первого испытания калибровки была принята новая конструкция калибров 4 и 6 с разъемом для толстой полки без учета ее скоса. Такое изменение калибровки устранило переполнение и уменьшило колебание ширины полок на готовом профиле.

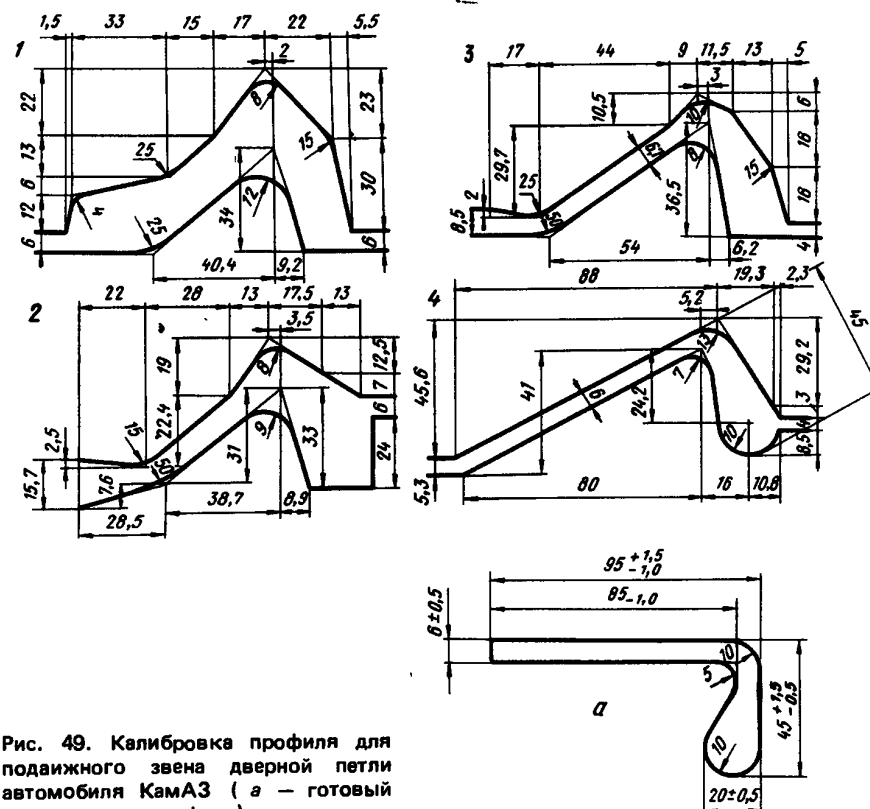


Рис. 49. Калибровка профиля для подажного звена дверной петли автомобиля КамАЗ (а — готовый профиль)

В чистовой клетти скручивание полос довольно просто устраняется или за счет осевого перемещения верхнего вала, или регулировкой обжатий толщины полок. На рис. 48 приведены и окончательные размеры калибров для прокатки профиля нижнего копыта поворотного круга автоприцепа.

Профиль для подвижного звена дверной петли автомобиля КамАЗ (рис. 49, а) представляет собой неравнобокий углобильбовый профиль с соотношением сторон больше двух и неравномерным распределением металла по элементам профиля.

Испытание калибровки (рис. 49) проведено на полупромышленном стане 300. Исходная заготовка имела диаметр 65 мм из стали СтЗкп. Температура начала прокатки 1120 — 1150°C, конца — 960 — 980°C. Профиль получен в соответствии с техническими условиями.

## Глава 4. ПРОФИЛИ ДЛЯ ОБОДОВ КОЛЕС АВТОМОБИЛЕЙ

### СОРТАМЕНТ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Профили ободов для колес автомобилей представляют собой [2] полосовые асимметричные профили с отогнутыми краями и относятся к двум основным типам [64]:

- а) уширенные с конической полкой и явно выраженной замочной частью (рис. 50, а);
- б) уширенные с конической полкой, у которых отсутствует явно выраженная замочная часть (рис. 50, б).

Основное различие этих двух типов профилей ободов заключается в том, что для первого типа характерно наличие канавки (выемки) в замоч-

ной части профиля. Канавка предназначена для установки профиля затворного или замочного кольца при сборке колеса и имеет форму равнобокой или неравнобокой трапеции. У профилей ободов второго типа канавка в замочной части отсутствует и бортовая часть, как правило, выше, чем у ободов первого типа [65].

Прокатка профилей для ободов обычно производится канавкой вверх. Расположение профиля канавкой вниз, хотя ранее и применяли, но впоследствии этот способ прокатки распространения не получил.

Профиль обода состоит из следующих основных элементов (рис. 50): бортовой части, полотна и замочной части. Вертикальный элемент бортовой части иногда [66] называют стойкой, а горизонтальный элемент — хвостовиком.

Кроме рассмотренных двух основных типов, имеются и другие разновидности профилей ободов для колес автомобилей. К ним относят профили ободов без хвостовика и с небольшой высотой стойки. Прошли испытания, но пока не нашли применения вследствие повышенной жесткости при заливке обода профили зетообразной формы [67].

Прокатка профилей ободов в таком виде, как они представлены на рис. 50, приводит к значительным трудностям, особенно для профилей первого типа с канавкой на замочной части.

При прокатке профилей ободов в прямом виде значительная разница окружных скоростей по ширине профиля может привести к серпению и скручиванию полосы. Ухудшаются условия проникновения металла в торцевые части профиля, что отрицательно сказывается на качестве готового проката. Формирование вертикальной стойки бортовой части обуславливает возникновение больших осевых усилий. Для предотвращения осевого смещения вала необходимо предусматривать опорные конусы, чтобы избежать искажения геометрической формы профиля и повышенного выхода брака. Кроме того, незначительный уклон стойки бортовой части приводит к значительному износу валков в процессе прокатки и снижению их стойкости. Восстанавливаемость калибров ухудшается и увеличивается расход валков.

За последние годы наметилась тенденция к уменьшению массы на 1 м длины профилей ободов для колес автомобилей. В результате изучения различных типоразмеров ободов и условий их работы при эксплуатации автомашин была выявлена возможность и целесообразность уменьшения толщины полотна профиля на 0,5 — 0,7 мм.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛОВ ИЗГИБА ПРИ ПРОКАТКЕ ПРОФИЛЯ ОБОДА

При прокатке и поставке потребителю профилей ободов в изогнутом виде изгиб профиля следует предусматривать в средней (центральной) части полотна, причем левая и правая части могут отгибаться под разными углами. Ширина изогнутого профиля, определенная по средней линии, не должна отличаться от ширины прямого профиля. При определении изогнутой формы готового профиля обода и углов изгиба  $\alpha$  и  $\beta$  для

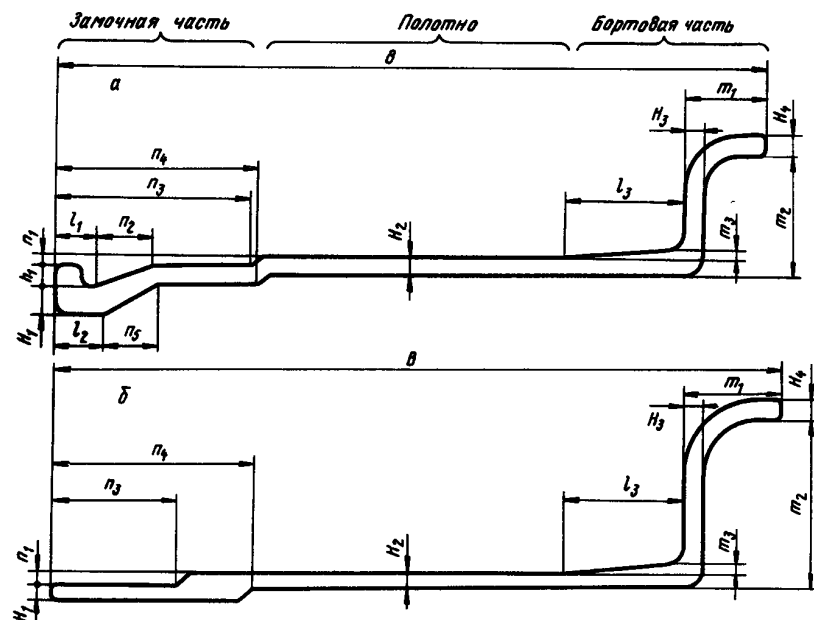


Рис. 50. Типы профилей ободов для колес автомобилей:  
а — с замочной частью; б — без замочной части

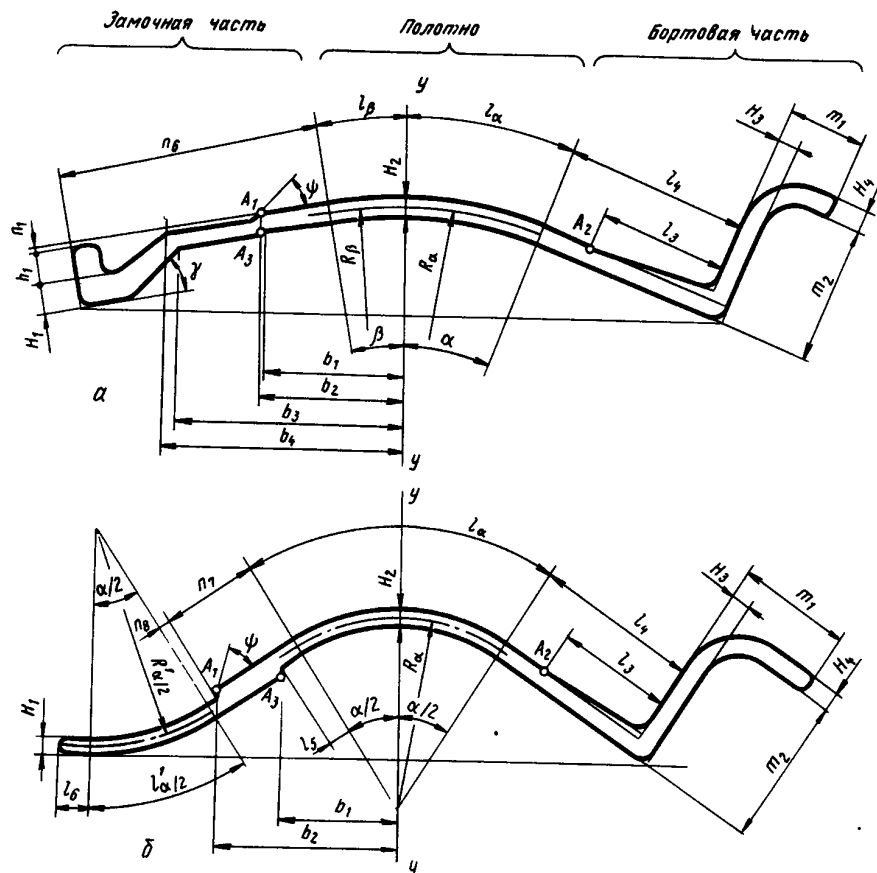


Рис. 51. Профили ободов первого типа (а) и второго типа (б) в изогнутом виде

профилей ободов первого типа (рис. 51, а) и угла изгиба  $\alpha$  для второго типа (рис. 51, б) рекомендуют [66, 68] выполнить следующие условия:

а) для устойчивого положения на рольганге, хорошего центрирования в калибре и благоприятных условий в процессе прокатки нижние точки бортовой и замочной части профиля обода должны быть расположены на одной горизонтали;

б) средние значения катающих радиусов для бортовой части и полотна профиля должны быть примерно одинаковыми. Следовательно, верхние точки бортовой части и полотна после его изгиба должны располагаться примерно на одной горизонтали;

в) углы изгиба  $\alpha$  и  $\beta$  должны быть выбраны таким образом, чтобы обеспечить благоприятные условия деформации стойки бортовой части и нормальные условия входа замочной части профиля в чистовой калибр;

г) осевое усилие при прокатке должно быть минимальным. Поэтому коэффициенты обжатия бортовой части, замочной части и полотна следует выбирать таким образом, чтобы средние значения длины контактной

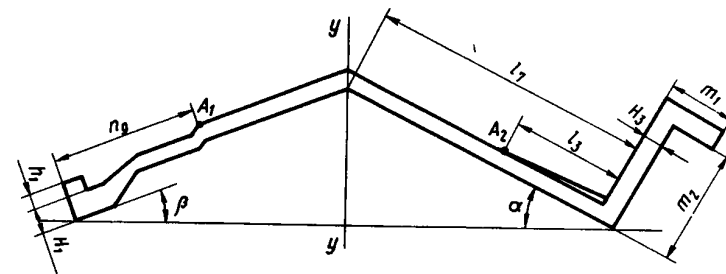


Рис. 52. Схема изгиба профиля обода с замочной частью

поверхности в элементах профиля (бортовая часть, замочная часть, полотно) были одинаковыми;

д) неравномерность высотной деформации полосы во избежание серпения и скручивания полосы при выходе из валков должна быть симметричной относительно вертикальной оси, проходящей через наивысшую точку изогнутого полотна профиля.

При определении углов изгиба  $\alpha$  и  $\beta$  в первом приближении принимают локальный изгиб полотна профиля и не учитывают радиусы закруглений по периметру профиля (рис. 52). Тогда [66]:

$$\alpha' = \arctg \left\{ \sqrt{\frac{1}{4} \left[ \left( \frac{m_1 - H_3}{m_2} \right) \left( 1 + \frac{m_1 - H_3}{l_7} \right) - \frac{m_2}{l_7} \right]^2 + \frac{2(m_1 - H_3)}{l_7}} - \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{m_1 - H_3}{m_2} \right) \left( 1 + \frac{m_1 - H_3}{l_7} \right) - \frac{m_2}{l_7} \right] \right\} \quad (8)$$

На основании анализа действующих калибровок наилучшее соотношение углов  $\alpha$  и  $\beta$  получают при  $l_7 = (0,3 \div 0,4) B_{изг}$ , где в соответствии с рис. 50,  $B_{изг} = B - m_1 + H_3$ .

Для определения угла  $\beta$  в работе [66] рассмотрено равновесие сил, действующих на профиль. При этом принято равномерное распределение давлений по ширине профиля и одинаковая средняя длина очага деформации для каждого элемента профиля. Для угла изгиба  $\beta$  (см. рис. 52) имеем

$$\beta = \arcsin \frac{(l_7 + m_1 - H_3) \sin \alpha - m_2 \cos \alpha + H_1 + h_1}{B_{изг} - l_7} \quad (9)$$

Соотношения (8) и (9) позволяют в первом приближении вычислить значения углов изгиба  $\alpha$  и  $\beta$ . Так как на практике изгиб выполняют определенным радиусом, то вследствие этого в зависимости от длины изогнутой части полотна могут несколько измениться значения углов  $\alpha$  и  $\beta$ .

Исходя из конструкции профиля обода и приведенных выше основных положений, можно найти коэффициент  $a_0$ , характеризующий величины изогнутой части полотна

$$a_0 B_{изг} = l_\alpha + l_\beta, \quad (10)$$

где  $l_\alpha, l_\beta$  — длины средних линий изогнутых участков полотна профиля. Изогнутая часть профиля не должна превышать величины  $B_{изг} - (H_3 + l_3 + n_4)$ .

Таким образом, коэффициент  $a_0$  может быть определен из неравенства  $a_0 \leq 1 - m_0 / B_{изг}$ , где  $m_0 = H_3 + l_3 + n_4$ .

Анализ выражений для углов изгиба  $\alpha, \beta$  и коэффициента  $a_0$ , выполненный для профилей ободов различных типов с общей шириной от 190 до 300 мм, позволяет сделать вывод, что наиболее целесообразным с точки зрения обеспечения нормального процесса прокатки будет изгиб полотна при минимальном значении коэффициента  $a_0$ , максимально возможном значении угла  $\beta$  и каком-то среднем значении угла  $\alpha$ . Предельное значение угла  $\alpha$  ограничивается возможностью перехода изогнутой части полотна в область конического участка (см. рис. 50, размер  $l_3$ ). Угол отгиба  $\beta$  замочной части из-за особенностей конструкции чистового и предчистового калибров и противоположной направленности уклонов граней замочной части обычно не может превышать  $12 - 12,5^\circ$ . С точки зрения устойчивости профиля при прокатке радиус  $R_\beta$  закругления полотна не следует принимать слишком большим.

Значения коэффициента  $a_0$  рекомендуют выбирать из соотношения

$$a_0 = (0,5 \div 0,75) (1 - m_0 / B_{изг}). \quad (11)$$

При определении углов изгиба  $\alpha$  и  $\beta$  и основных размеров профиля обода первого типа в изогнутом состоянии принимают [66] следующий порядок расчета:

1. Определяют углы изгиба  $\alpha$  и  $\beta$  по формулам (8) и (9).
2. Из выражения (11) вычисляют коэффициент  $a_0$ .
3. Учитывая, что для профиля обода в прямом виде (рис. 50, а)  $B_{изг} = B - m_1 + H_3$ , а для профиля обода в изогнутом виде (рис. 51, а)  $B_{изг} = n_6 + l_\alpha + l_\beta + l_4 + H_3$ , определяют длину изогнутой части профиля согласно формуле (10)  $l_\alpha + l_\beta = a_0 B_{изг}$ .

4. Если изгиб полотна выполняют одинаковым радиусом для  $l_\alpha$  и  $l_\beta$ , то средний радиус  $R_{\alpha+\beta}$  по средней линии изогнутого участка равен  $R_{\alpha+\beta} = 180(l_\alpha + l_\beta) / \pi(\alpha + \beta)$ .

В том случае, когда изгиб участков полотна осуществляют различными радиусами  $R_\alpha$  и  $R_\beta$ , то на основании практического опыта принимают  $R_\alpha / R_\beta = (1,0 \div 1,15) \beta / \alpha$ , где  $R_\alpha = 180 l_\alpha / \pi \alpha$ ,  $R_\beta = 180 l_\beta / \pi \beta$ .

5. Из условия расположения нижних точек бортовой и замочной частей профиля на одной горизонтали при радиусе изгиба  $R_{\alpha+\beta}$  и при отгибе бортовой части под углом  $\alpha$ , а замочной части — под углом  $\beta$  следует (см. рис. 51, а и 52)  $n_6 = [(1 - a_0) B_{изг} \sin \alpha + R_{\alpha+\beta} (\cos \beta - \cos \alpha) - (H_1 + h_1 + n_1 - H_2) \cos \beta] / (\sin \alpha + \sin \beta)$ .

6. Далее определяют прямой участок  $l_4$   $l_4 = (1 - a_0) B_{изг} - n_6 - H_3$  и производят сравнение величин  $n_6$  и  $l_4$  с предельно допустимыми зна-

чениями. При этом должны быть выполнены следующие строгие неравенства  $n_6 > n_4$  и  $l_4 > l_3$ .

Если эти неравенства не соблюдаются, то следует уменьшить коэффициент  $a_0$  и произвести повторный расчет. Как показывает опыт, обычно вполне достаточно одного повторного расчета.

Значения углов изгиба  $\alpha$  и  $\beta$  для прокатки профилей ободов первого типа на металлургическом заводе им. Петровского изменяют в следующих пределах [64]:

$$\alpha = 20 \div 30^\circ; \quad \beta = 7,5 \div 12,5^\circ. \quad (12)$$

Определение формы и параметров изгиба профиля обода второго типа рассмотрено в работе [65]. При изгибе профиля нежелательно, чтобы дугообразная часть изогнутого профиля (см. рис. 51, б) перекрывала участок конусности бортовой части (точка  $A_2$ ) и переходной участок замочной части (точки  $A_1$  и  $A_3$ ). Изгиб полотна целесообразнее осуществлять одним радиусом. При этом нижние точки бортовой и замочной частей рекомендуют располагать на одной горизонтали, что способствует устойчивому положению полосы в калибрах при прокатке профиля. Отгиб бортовой и замочной частей выполняют под достаточно большим углом  $\alpha/2$ .

Чем больше по величине угол отгиба, тем меньше осевые усилия, возникающие при обжати стойки, и тем меньше возможность смещения валков относительно друг друга. В то же время максимальное значение угла изгиба  $\alpha/2$  ограничивается величиной угла переходного участка замочной части. Если этот угол меньше  $\alpha/2$ , то на переходном участке (ступеньке) замочной части будет иметь место поднутрение, что, естественно, недопустимо. Практически величина угла изгиба  $\alpha$  находится в пределах  $60 - 70^\circ$ .

Методика изгиба профиля обода второго типа (см. рис. 50, б и 51, б) заключается в следующем.

Изгибу подвергают часть профиля  $B_{изг} = B - m_1 + H_3 + 0,5 n_3$ .

Длину средней линии  $l_\alpha$  изогнутого участка полотна определяют величиной коэффициента  $a_0$  из соотношения (11) при  $m_0 = B - m_1 - n_4$ .

Таким образом, имеем по аналогии с формулой (10)  $l_\alpha = a_0 B_{изг}$ .

Далее находят радиус изгиба по средней линии  $R_\alpha = 180 l_\alpha / \pi \alpha$ ; длину правой отогнутой части  $l_4 = a_0 B_{изг} - H_3$  и параметры левой части

$$n_7 = B - m_1 - n_3 - (l_4 + l_\alpha);$$

$$n_8 = \left\{ \left[ 2 l_\alpha + l_4 - (B - m_1 - n_3) \right] \sin \frac{\alpha}{2} - n_1 \cos \frac{\alpha}{2} + R'_{\alpha/2} \left( 1 - \cos \frac{\alpha}{2} \right) \right\} / \sin \frac{\alpha}{2};$$

$$l'_{\alpha/2} = \pi R'_{\alpha/2} \alpha / 360; \quad l_5 = B - (m_1 + n_4 + l_4 + l_\alpha);$$

$$l_6 = n_3 - (n_8 + l'_{\alpha/2}).$$

При этом параметры левой части определяют из условия расположения нижних точек замочной и бортовой частей профиля на одной горизонтали.

При прокатке профилей ободов в изогнутом виде в зависимости от формы профиля, требований, предъявляемых заказчиком, и условий формирования профиля в калибрах возможны и исключения из рекомендаций (12), определяющих углы изгиба профиля  $\alpha$  и  $\beta$  для профилей ободов первого типа.

Причиной этого является то, что изложенная методика изгиба профиля обода и определения углов изгиба  $\alpha$  и  $\beta$  исходит из условий устойчивой прокатки профиля обода. В то же время профили ободов с целью их выпрямления подвергают правке на автозаводах и к профилю изогнутой формы предъявляют требования, обеспечивающие нормальный процесс правки. Поэтому возможны и отклонения от формулы (12), так как в отдельных случаях допустимый изгиб профиля может быть задан конструкторским бюро автомобильных заводов.

От величины углов изгиба  $\alpha$  и  $\beta$  и от их соотношения зависит расположение калибров (и в первую очередь чистового калибра) на валках. Если изогнутая форма профиля задана, то в этом случае не всегда удастся расположить калибры в валках так, чтобы нижние точки бортовой и замочной частей находились на одной горизонтали. Если смещение нижних точек бортовой и замочной частей относительно друг друга по вертикали не слишком велико, то оно не ухудшает существенно условий прокатки и его устраняют в процессе расчета калибровки за счет уменьшения угла  $\beta$ .

Для профилей оснований ободов колес, имеющих замочную часть (см. рис. 50, а), внутренний уклон выступа замочной части в состоянии поставки обычно составляет от 7 до 12°. Этот уклон обеспечивают заранее предусмотренным изгибом по радиусу полотна профиля.

Впоследствии при спрямлении сечения на операции завивки колеса у заказчика внутренняя грань выступа замочной части занимает вертикальное положение.

Если оказывается, что уклон внутренней грани выступа замочной части оказывается недостаточным для нормального и устойчивого процесса прокатки, то иногда целесообразно принять наклонное расположение чистового калибра в валках. При этом обеспечивается более надежная деформация внутренней грани выступа. Вместе с тем следует учитывать, что с увеличением в калибре уклона внутренней грани выступа уменьшится уклон вертикального участка бортовой части, который имеет больший по сравнению с выступом участок очага деформации. Увеличение бокового давления в вертикальном участке бортовой части в связи с уменьшением уклона может привести к осевому смещению валков.

При выборе оптимального уклона нельзя не учитывать деформацию наружной грани выступа. На основании практического опыта можно считать допустимым уклон выступа замочной части не более 15°, что обеспечивает надежное формирование наружной грани выступа в условиях применения одного или двух калибров полузакрытого типа.

## РАСЧЕТ КАЛИБРОВКИ ПРИ ПРОКАТКЕ ПРОФИЛЕЙ ОБОДОВ

В работах [64, 66] рассмотрена методика расчета калибровки профилей ободов первого и второго типов, основанная на приведенных выше соотношениях для определения углов изгиба  $\alpha$  и  $\beta$  и условий самоцентрирования полосы в калибрах, которые заключаются в следующем:

1. При входе в калибр нижнее основание полосы в районе очага деформации должно одновременно контактировать с максимально возможным числом точек на поверхности нижнего валка.

2. Верхний валок, накатываясь на основание полосы в районе очага деформации, должен одновременно приходить в контакт с полосой в заранее запроектированных местах. Оптимальными являются точки контакта, равномерно удаленные от условной вертикальной оси калибра.

Выполнение принципов центрирования, особенно в чистовых калибрах, для которых центрирование является основным способом получения торцевых элементов сложной геометрии, достигается постоянством во всех калибрах некоторых размерных величин и базисных расстояний. Базисные расстояния — это расстояния от намеченных основных точек в чистовом калибре до условной вертикальной оси калибра (ось  $y - y$  на рис. 51).

Постоянные параметры:

а) для профилей ободов первого типа (рис. 51, а) углы  $\alpha, \beta, \gamma, \psi$ , величины  $R_\alpha$  и  $R_\beta$  (или  $R_{\alpha+\beta}$ ),  $l_4 + 0,5 H_3$ ,  $m_2$  и базисные расстояния  $b_1, b_2, b_3, b_4$ ;

б) для профилей ободов второго типа (рис. 51, б) углы  $\alpha, \psi$ , величины  $R_\alpha, R'_{\alpha/2}, m_2, l_4 + 0,5 H_3, l'_{\alpha/2}$  и базисные расстояния  $b_1$  и  $b_2$ .

Размеры чистового калибра определяют с учетом коэффициента термического расширения при выполнении следующих основных положений:

а) толщина полотна и все остальные размеры по толщине проектируют с полным использованием допуска на минус;

б) ширину полотна принимают по минимальному размеру;

в) высоту замочной и бортовой частей предусматривают с использованием половины допуска на плюс.

На основании опыта работы при прокатке на стане 550 профилей ободов за семь фасонных калибров для полотна рекомендуют [64, 65] следующие коэффициенты обжатия  $1/\eta_i$ , где  $i$  — номер калибра по ходу прокатки

$$\left. \begin{aligned} 1/\eta_1 &= 1,30 \div 1,50; & 1/\eta_2 &= 1,60 \div 1,70; & 1/\eta_3 &= 1,60 \div 1,70; \\ 1/\eta_4 &= 1,50 \div 1,60; & 1/\eta_5 &= 1,40 \div 1,60; & 1/\eta_6 &= 1,25 \div 1,40; \\ 1/\eta_7 &= 1,15 \div 1,25. \end{aligned} \right\} (13)$$

Конфигурация профиля обода такова, что как бы не производили разделение профиля на отдельные элементы, эти элементы будут по-разному ориентированы к оси прокатки и будут различаться формой и размерами. Добиться одинаковой степени высотной деформации во всех элементах

и по всем калибрам невозможно. Однако в чистовых калибрах для элементов, составляющих основную массу металла, условие одинаковой степени высотной деформации необходимо выполнить. Иногда, правда, приходится отступать от этого правила для того, чтобы обеспечить заполнение металлом сложных по конфигурации торцевых элементов профиля.

При распределении коэффициентов обжатия особенно важным является обжатие вертикального элемента бортовой части, которое определяется из условия равенства средних значений длин контактной поверхности в элементах профиля. Соотношение обжатий толщины полотна  $\Delta H_2$  и вертикального элемента бортовой части  $\Delta H_3$  равно  $\Delta H_3 = \Delta H_2 \sin \alpha$ .

Прокатку профилей ободов ведут, как правило, с ограничением уширения в калибрах, что гарантирует надежное заполнение торцевых участков калибра. Расчет уширения производят по средней линии.

Исследования темплетов показали [68], что вследствие меньшего обжатия вертикального элемента бортовой части по сравнению с горизонтальным в последних трех по ходу прокатки калибрах происходит утяжка горизонтального элемента бортовой части  $\Delta b_{YT}$ , которая может быть определена по формуле  $\Delta b_{YT} = c(\Delta H_4 - \Delta H_3)$ , где  $\Delta H_4$  — абсолютная величина обжатия горизонтального элемента бортовой части;  $c$  — коэффициент, равный 0,3 для калибра 7 (чистового), 0,25 для калибра 6 и 0,15 для калибра 5.

Среднюю линию бортовой части в калибрах 4 — 7 рассчитывают с учетом утяжки горизонтального элемента бортовой части. При расположении калибров в валках рекомендуют использовать способ Д.И.Старченко [5].

На рис. 53 приведены размеры калибров для прокатки обода 9.ОРГ-20 [65]. Первая опытная прокатка дала положительные результаты. Потребовалась лишь незначительная корректировка двух радиусов в торцевых частях двух калибров.

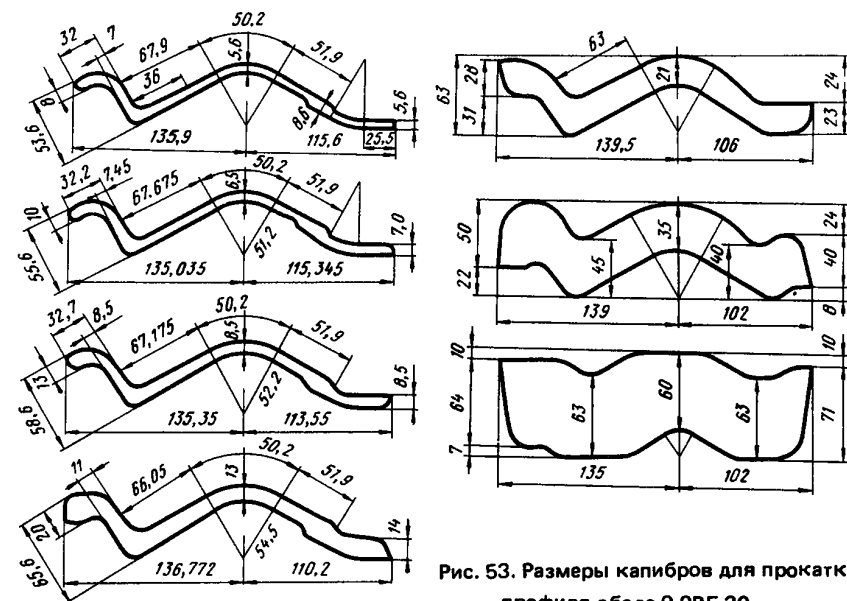


Рис. 53. Размеры калибров для прокатки профиля обода 9.ОРГ-20

Методика предназначена для расчета калибровки профилей ободов первого и второго типов в изогнутом виде как в случае расположения нижних точек бортовой и замочной частей на одной горизонтали, так и при смещении этих точек по вертикали относительно друг друга.

Углы изгиба  $\alpha$  и  $\beta$  для ободов первого типа или углов изгиба  $\alpha$  для ободов второго типа определяют, как это рассмотрено ранее, из условия расположения нижних точек бортовой и замочной частей профиля на одной горизонтали или же заданы заказчиком из условий технологичности процесса при правке профиля. Кроме этих случаев возможно вертикальное смещение нижних точек бортовой и замочной частей относительно друг друга, если это необходимо для обеспечения благоприятных условий формирования элементов замочной части.

При прокатке профилей ободов можно применять семь или девять фасонных калибров. Все фасонные калибры при прокатке профилей первого типа, за исключением предчистового, закрытого типа с чередованием направления разъемов. В предчистовом калибре для контроля высоты выступа и его формирования замочную часть выполняют полузакрытой. Для ободов второго типа нет необходимости в полузакрытых калибрах и поэтому все фасонные калибры являются закрытыми. Иногда для профилей ободов первого типа используют два полузакрытых калибра.

При девяти фасонных калибрах на основании анализа заводских калибровок могут быть рекомендованы следующие пределы изменения коэффициентов обжатия по калибрам

$$\left. \begin{aligned} 1/\eta_1 &= 1,15 \div 1,40; & 1/\eta_2 &= 1,15 \div 1,40; & 1/\eta_3 &= 1,20 \div 1,50; \\ 1/\eta_4 &= 1,30 \div 1,50; & 1/\eta_5 &= 1,30 \div 1,60; & 1/\eta_6 &= 1,30 \div 1,55; \\ 1/\eta_7 &= 1,30 \div 1,50; & 1/\eta_8 &= 1,20 \div 1,35; & 1/\eta_9 &= 1,10 - 1,25. \end{aligned} \right\} (14)$$

Особенностью режимов обжатий при прокатке профилей ободов являются одинаковые коэффициенты обжатия элементов в чистовом и предчистовом калибрах. В остальных калибрах коэффициенты обжатия тонких элементов в той или иной степени больше коэффициентов обжатия более толстых элементов. Если возможно, то целесообразно также предусматривать одинаковые коэффициенты обжатия отдельных элементов и в первых по ходу расчетах подготовительных калибрах.

По форме и назначению фасонные калибры для прокатки профилей ободов можно условно отнести к трем основным типам: чистовой, подготовительные и черновые. Чистовые и подготовительные калибры отличаются от черновых своей формой, которая подобна форме поперечного сечения готового профиля. В черновых калибрах происходит первоначаль-

ное формирование полосы. Их форма, естественно, отличается от формы готового профиля. Обычно при прокатке профилей ободов предусматривают два черновых калибра, что вполне достаточно для придания полосе прямоугольного сечения необходимой конфигурации.

Ниже рассмотрена методика расчета калибровки на примере калибровки профиля первого типа (рис. 50, а). При этом полагаем, что нижние точки бортовой и замочной частей не расположены на одной горизонтали и угол изгиба замочной части  $\beta$  равен  $15^\circ$ . Такой угол изгиба обеспечивает интенсивную деформацию внутренней грани выступа замочной части, но создает некоторые неудобства для деформации внешней грани выступа. Поэтому необходимо кратчайшим путем выпрямить левую часть профиля, последовательно уменьшая против хода прокатки угол изгиба  $\beta$ . Можно рекомендовать следующие значения углов изгиба  $\beta$  при девяти фасонных калибрах:

$$\left. \begin{aligned} \beta_5 &= 0^\circ; \quad \beta_6 = 4^\circ \div 6^\circ; \quad \beta_7 = 7^\circ \div 9^\circ; \\ \beta_8 &= 11^\circ \div 13^\circ; \quad \beta_9 = 15^\circ. \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Те же значения углов  $\beta$ , только начиная с калибра 3, принимают и при семи фасонных калибрах.

Рекомендуемый для чистового калибра угол изгиба  $\beta$ , равный  $15^\circ$ , можно считать оптимальным. Дальнейшее увеличение угла  $\beta$  затрудняет спрямление (правку) изогнутого полотна профиля у потребителя. Кроме того, при увеличении угла  $\beta$  создаются дополнительные трудности при формировании замочной части в процессе прокатки, так как большой уклон внешней грани замочной части по отношению к средней линии валков предопределяет практическую невозможность деформации внешней грани, что в свою очередь приводит к неустойчивому положению выступа в калибрах.

Выступ замочной части является наиболее важным элементом профиля и, чтобы обеспечить его надежное формирование, необходимо добиться прежде всего точного совпадения внутренней грани выступа полосы с соответствующей гранью калибра.

Принимаемое согласно уравнениям (15) значительное уменьшение угла  $\beta$  против хода прокатки дает возможность полностью обеспечить формирование выступа в одном полузакрытом предчистовом калибре. При увеличении числа полузакрытых калибров до двух, что иногда встречается на практике, затруднительно определить по внешнему виду готового профиля, в каком калибре произошло переполнение. Поэтому приходится отбирать темплеты из отдельных калибров, что приводит к простоям стана и увеличению расхода металла.

Для расчета калибровки сечение готового профиля (см. рис. 51, а) разделяют на три базовых элемента: замочную часть, полотно (изогнутый средний участок) и бортовую часть, связанных между собой единством режима деформации.

Расчет размеров фасонных калибров производят в следующей последовательности.

1. На основании номинальных размеров готового профиля в изогнутом виде определяют с учетом допускаемых отклонений контуры (без радиусов закруглений) всех базовых элементов профиля с постановкой размеров между базовыми точками пересечения внешних линий этих контуров. При этом толщина полотна и толщины других элементов проектируют обычно на минус.

2. Пересчитывают все размеры профиля с учетом коэффициента термического расширения.

3. С учетом конструкции основного оборудования прокатного стана и практических данных по прокатке профилей ободов принимают число фасонных калибров (семь или девять) и толщину  $H_0$  исходного раската прямоугольного сечения, задаваемого в первый фасонный калибр.

Толщину  $H_0$  определяют в зависимости от высоты замочной и бортовой частей готового профиля и характеристики стана (диаметра и материала валков, количества клеток и мощности электродвигателей главных приводов). На основании практических данных отношение  $H_0$  к высоте замочной части в условиях различных заводов колеблется в пределах от 5 до 7.

4. Определяют суммарные коэффициенты обжатия  $1/\eta_1, 1/\eta_{II}, 1/\eta_{III}, 1/\eta_{IV}$  соответственно по толщинам  $H_1, H_2, H_3, H_4$  (см. рис. 51, а) базовых элементов в фасонных калибрах из условия  $H_0 = H_1 (1/\eta_1) = H_2 (1/\eta_{II}) = H_3 (1/\eta_{III}) = H_4 (1/\eta_{IV})$ .

5. На основании уравнения (13) при семи фасонных калибрах или (14) при девяти фасонных калибрах распределяют суммарные коэффициенты обжатия базовых элементов профиля по калибрам и рассчитывают толщину базовых элементов

$$H_1^{i-1} = H_1^i (1/\eta_1^i), \dots; \quad H_4^{i-1} = H_4^i (1/\eta_{IV}^i), \quad (16)$$

где  $i$  — номер калибра по ходу прокатки.

6. Для подготовительных калибров рассчитывают замочные части выступа (рис. 54).

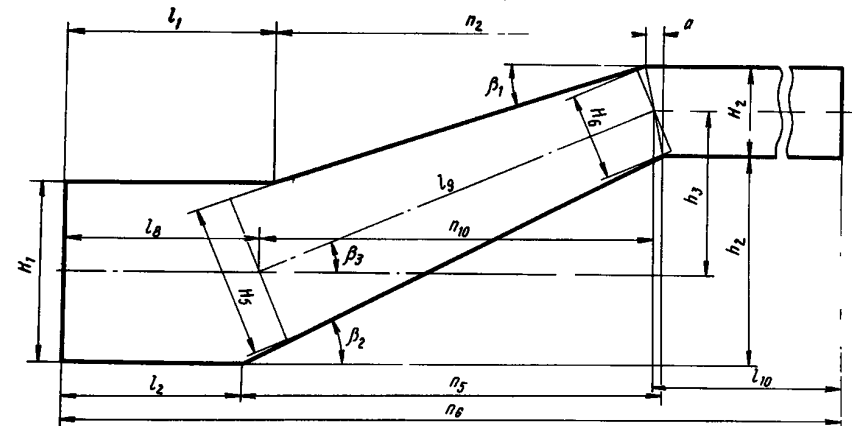


Рис. 54. Основание замочной части профиля обода первого типа

Для замочной части чистового калибра заданными являются размеры  $H_1, H_2, l_1, n_2, l_2, n_5, h_2, n_6$ . Эти же размеры для подготовительных калибров, кроме размера  $n_6$ , который является постоянным, являются искомыми и по ним производится построение замочной части всех подготовительных калибров. Рассчитывают замочную часть профиля в следующей последовательности:

а) находят необходимые для дальнейших расчетов следующие дополнительные размеры в чистовом калибре  $\beta_2 = \arctg(h_2/n_5)$ ;  $\beta_1 = \arctg(H_2 + h_2 - H_1)/n_2$ ;  $\beta_3 = \beta_1 + 0,5(\beta_2 - \beta_1)$ ;  $a = l_2 + n_5 - (l_1 + n_2)$ ;  $h_3 = h_2 + 0,5 H_2 - 0,5 H_1$ ;

б) определяют для чистового калибра длины средних линий  $l_8, l_9, l_{10}$  и горизонтальную проекцию  $n_{10}$  длины средней линии  $l_9$   $h_3 = h_3 / \tg \beta_3$ ;  $n_{10} = h_3 / \sin \beta_3$ ;  $l_8 = l_2 + n_5 - n_{10} - 0,5 a$ ;  $l_{10} = n_6 - (l_8 + n_{10} + 0,5 a)$ ;

в) находят толщину  $H_5$  и  $H_6$  наклонного элемента замочной части чистового калибра  $H_6 = [\sqrt{H_2^2 + a^2} \sin(90^\circ + \arctg a/H_2 - \beta_1)] / \sin X$   $X [90^\circ + 0,5(\beta_2 - \beta_1)]$ ;  $H_5 = H_6 + 2 l_9 \tg(\beta_3 - \beta_1)$ ;

г) намечают коэффициенты обжатия по калибрам для толщин  $H_5$  и  $H_6$  наклонного элемента в соответствии с уравнениями (13) или (14) и с учетом толщины исходного расчета  $H_0$ . При этом опять же в последних по ходу прокатки калибрах придерживаются принципа одинаковых коэффициентов обжатия по ширине профиля. Далее аналогично уравнениям (16) вычисляют толщину  $H_5$  и  $H_6$  в подготовительных калибрах;

д) в чистовом и подготовительных калибрах, как это уже подчеркивали ранее, полностью должны совпадать средние линии замочных частей, т.е. калибровку профиля обода проектируют при постоянных размерах  $l_8, l_{10}, n_{10}$  и  $h_3$  (см. рис. 54). Естественно, что при постоянных размерах  $n_{10}$  и  $h_3$  сохраняется постоянной и длина средней линии  $l_9$  наклонного элемента.

Так как режимы обжатий отдельных элементов замочной части и соответственно их толщины  $H_1, H_2, H_5, H_6$  заданы ранее, то необходимо определить для каждого подготовительного калибра размеры  $h_2, n_2, n_5, l_1, l_2$ .

Пользуясь полученными соотношениями и данными рис. 54, имеем для каждого подготовительного калибра:

$$\left. \begin{aligned} h_2 &= h_3 + 0,5(H_1 - H_2); n_2 = (h_2 + H_2 - H_1) \ctg \beta_1; \\ n_5 &= h_2 \ctg \beta_2; l_1 = l_8 + n_{10} - n_2 - 0,5 a; \\ l_2 &= l_8 + n_{10} - n_5 + 0,5 a, \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

где  $\beta_1 = \beta_3 - \arctg[0,5(H_5 - H_6)/l_9]$ ;  $\beta_2 = \beta_3 + \arctg[0,5(H_5 - H_6)/l_9]$ ;

$$a = \frac{H_6 \sin \{90^\circ - \arcsin[0,5(H_5 - H_6)/l_9]\}}{\tg \beta_1 \sin(90^\circ - \beta_1)} - \frac{H_2}{\tg \beta_1}.$$

При этом размер  $n_6$  задан для чистового калибра и сохраняется постоянным для всех подготовительных калибров. Так как в соответствии с выбранным режимом обжатий толщины  $H_1, H_2, H_5, H_6$  известны для каждого подготовительного калибра, то по соотношениям (17) можно определить размеры замочной части любого подготовительного калибра. Это обстоятельство является преимуществом данной методики и позволяет после определения размеров чистового калибра сразу же рассчитать первый по ходу прокатки подготовительный калибр (или любой другой) и в случае необходимости внести изменения в заданный режим обжатий.

7. Рассчитывают полотно (изогнутой средней части); толщина полотна  $H_2$  для всех калибров определена ранее. Углы изгиба  $\beta$  для подготовительных калибров выбирали в соответствии с уравнениями (15). Так как угол изгиба  $\beta$  не сохраняется постоянным во всех подготовительных калибрах, а уменьшается по ходу расчета калибровки, в то время как длина средней линии  $l_\beta$  изогнутой левой части полотна (см. рис. 51, а) во всех подготовительных калибрах принимают постоянной и равной  $l_\beta$  чистового калибра, то изменяется и радиус  $R_\beta$  средней линии (рис. 55), который определяют из соотношения  $R_\beta = 180 l_\beta / \pi \beta$ , где  $l_\beta = \text{const}$ , а  $\beta$  — угол изгиба в рассматриваемом подготовительном калибре.

Радиус  $R_\alpha$ , как и угол изгиба  $\alpha$ , принимают постоянными во всех подготовительных калибрах.

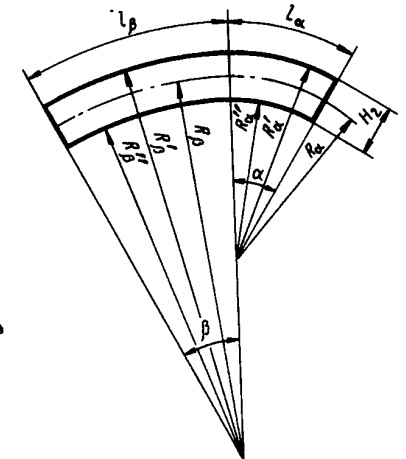


Рис. 55. Пополотно профиля обода в изогнутом виде

Радиусы  $R_\beta', R_\beta'', R_\alpha', R_\alpha''$  в каждом подготовительном калибре находятся из соотношений  $R_\beta' = R_\beta + 0,5 H_2$ ;  $R_\beta'' = R_\beta - 0,5 H_2$ ;  $R_\alpha' = R_\alpha + 0,5 H_2$ ;  $R_\alpha'' = R_\alpha - 0,5 H_2$ .

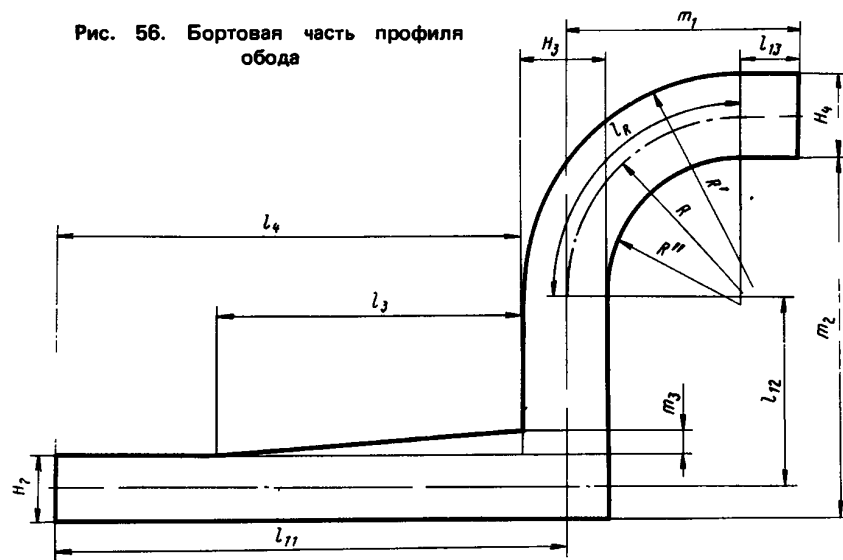
8. В соответствии с рис. 56 определяют длину средних линий  $l_{11}, l_{12}, l_{13}, l_R$  отдельных элементов бортовой части профиля обода в чистовом калибре. Заданы следующие размеры:  $H_2, H_3, H_4, l_3, l_4, m_1, m_2, m_3, R$ . Конусный элемент длиной  $l_3$  при определении длин средних линий не учитывают. Тогда

$$\left. \begin{aligned} l_{11} &= l_4 + 0,5 H_3; l_{12} = m_2 + 0,5 H_4 - 0,5 H_2 - R; \\ l_R &= 0,5 \pi R; l_{13} = m_1 - R. \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

Радиусы  $R'$  и  $R''$  бортовой части равны

$$R' = R + 0,25(H_3 + H_4); R'' = R - 0,25(H_3 + H_4). \quad (19)$$

Рис. 56. Бортовая часть профиля обода



9. Определяют (рис. 57) длину  $l_{14}$  средней линии кромки бортовой части, расположение кромки бортовой части (размер  $x$ ) и общую ширину  $b_6$  бортовой части в условном чистовом калибре.

Так как в чистовом калибре кромка бортовой части расположена под углом  $\alpha$  к горизонтали, а во всех подготовительных калибрах кромка занимает горизонтальное положение, то, прежде чем перейти к расчету бортовой части подготовительных калибров необходимо рассмотреть условный чистовый калибр.

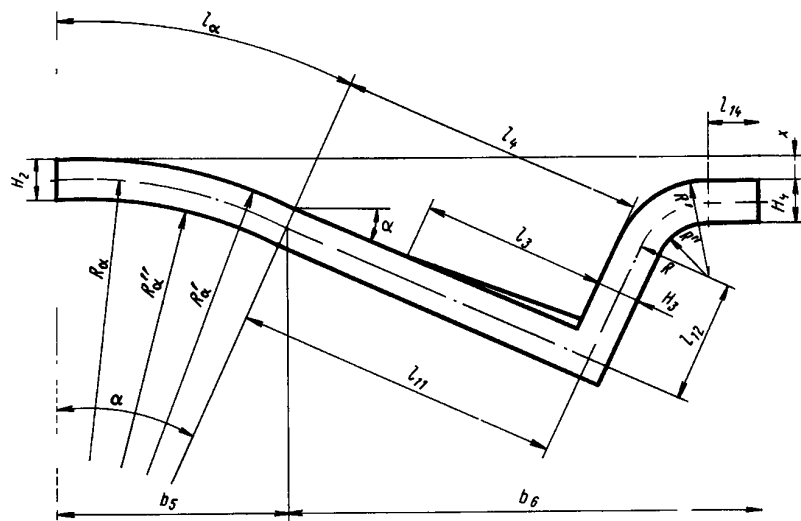


Рис. 57. Бортовая часть профиля обода условного чистового калибра

Длина  $l_{14}$  кромки бортовой части в условном чистовом калибре равна (см. рис. 56 и 57)  $l_{14} = l_R + l_{13} - \pi R (90^\circ - \alpha) / 180$ , или, подставляя  $l_R$  и  $l_{13}$  из уравнений (18) получим  $l_{14} = 0,5 \pi R + m_1 - R - \pi R (90^\circ - \alpha) / 180$ .

Расположение кромки бортовой части в условном чистовом калибре находим на рис. 57:

$$x = 0,5 H_2 + R_\alpha (1 - \sin \alpha) + l_{11} \sin \alpha - l_{12} \cos \alpha - R (1 - \sin \alpha) - 0,5 H_4, \quad (20)$$

где  $l_{11}$  и  $l_{12}$  определяют по уравнениям (18), а  $H_2$ ,  $d$ ,  $R$  и  $H_4$  задаются. Общая ширина  $b_6$  бортовой части  $b_6 = l_{11} \cos \alpha + l_{12} \sin \alpha + + R \cos \alpha + l_{14}$ .

10. Рассчитывают бортовую часть подготовительных калибров.

Средние линии бортовой части всех подготовительных калибров полностью совпадают с средней линией условного чистового калибра. Поэтому для расчета бортовых частей подготовительных калибров и их построения можно использовать рис. 57. Постоянными для них являются размеры  $l_{11}$ ,  $l_{12}$ , радиус  $R$ , угол  $\alpha$  и расстояние  $x + 0,5 H_4 - 0,5 H_2$  между средними линиями полотна и кромки бортовой части. Толщины  $H_2$ ,  $H_3$  и  $H_4$  заданы принятым режимом обжатия.

Размер  $x$  для каждого подготовительного калибра определяют из условия постоянства расстояния между средними линиями полотна и кромки бортовой части, т.е. из уравнения (20)  $x = C + 0,5 H_2 - 0,5 H_4$ , где  $H_2$ ,  $H_4$  — толщины рассчитываемого подготовительного калибра,  $C$  — постоянная величина для всех калибров (чистового и подготовительных). При этом  $C = R_\alpha (1 - \sin \alpha) + l_{11} \sin \alpha - l_{12} \cos \alpha - R (1 - \sin \alpha)$ . Радиусы закруглений  $R'$  и  $R''$  (см. рис. 57) бортовой части определяют из уравнения (19).

При заданном режиме обжатия и принятых параметрах калибровку бортовой части и полотна также, как и замочную часть профиля, можно рассчитывать для любого подготовительного калибра и независимо от других калибров.

11. Рассчитывают уширение в чистовом и подготовительных калибрах только для бортовой части по формуле (1). При этом уширение принимают равным 0,7 от свободного.

12. Черновые калибры, в которых происходит первоначальное формирование профиля, проектируют на основании выбранного режима обжатия. При этом целесообразно для станов линейного типа предусматривать эти калибры сопряженными и с утолщениями на краях. Приближенный расчет уширения ведут по формуле (1) для толщины  $H_2$  полотна профиля.

13. При формировании выступа замочной части профиля обода обжатия по ширине и высоте выступа чередуют через калибр. Калибровку выступа замочной части рассчитывают с учетом примерного равенства коэффициентов вытяжки выступа и остальной части этого элемента. При этом коэффициенты вытяжки определяют на основании расчета

14. При разработке монтажных чертежей валков нейтральные линии калибров определяют по их центрам тяжести. Центры тяжести калибров находят уравниванием рабочих шаблонов калибров на кромке тонкой металлической линейки.

## ОСВОЕНИЕ ПРОФИЛЯ ЗАМОЧНОГО ОСНОВАНИЯ ОБОДА КОЛЕСА 6.00F-16

**Таблица 3. Режим обжатий при прокатке профиля обода колеса 6.00F-16**

| № ка-<br>пбра | $H_6$    |       |              | $H_3$    |       |              | $H_4$    |       |              |
|---------------|----------|-------|--------------|----------|-------|--------------|----------|-------|--------------|
|               | $1/\eta$ | $H_6$ | $\Delta H_6$ | $1/\eta$ | $H_3$ | $\Delta H_3$ | $1/\eta$ | $H_4$ | $\Delta H_4$ |
| 1             | 1,23     | 60,0  | 14,0         | —        | —     | —            | —        | —     | —            |
| 2             | 1,33     | 45,2  | 14,8         | —        | —     | —            | —        | —     | —            |
| 3             | 1,37     | 33,0  | 12,2         | —        | 28,5  | —            | —        | 32,0  | —            |
| 4             | 1,44     | 22,9  | 10,1         | 1,45     | 19,0  | 9,5          | 1,44     | 22,2  | 10,0         |
| 5             | 1,47     | 15,6  | 7,3          | 1,46     | 13,0  | 6,0          | 1,45     | 14,8  | 7,4          |
| 6             | 1,43     | 10,9  | 4,7          | 1,40     | 9,3   | 3,7          | 1,44     | 10,3  | 4,5          |
| 7             | 1,35     | 8,1   | 2,8          | 1,29     | 7,2   | 2,1          | 1,36     | 7,6   | 2,7          |
| 8             | 1,25     | 6,5   | 1,6          | 1,21     | 6,0   | 1,2          | 1,24     | 6,1   | 1,5          |
| 9             | 1,15     | 5,7   | 0,8          | 1,07     | 5,6   | 1,15         | 5,3      | 0,4   | 0,8          |

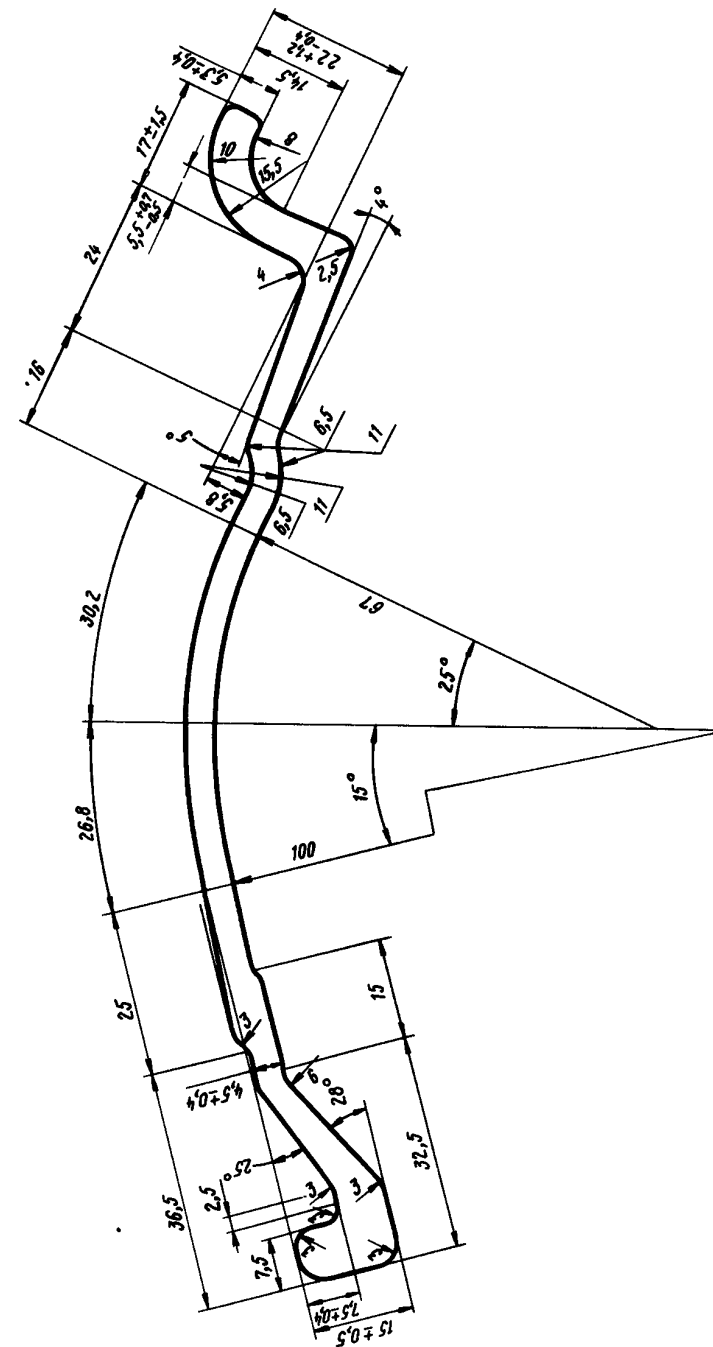


Рис. 58. Размеры и допуски готового профиля замочного основания обода колеса 6,00F-16

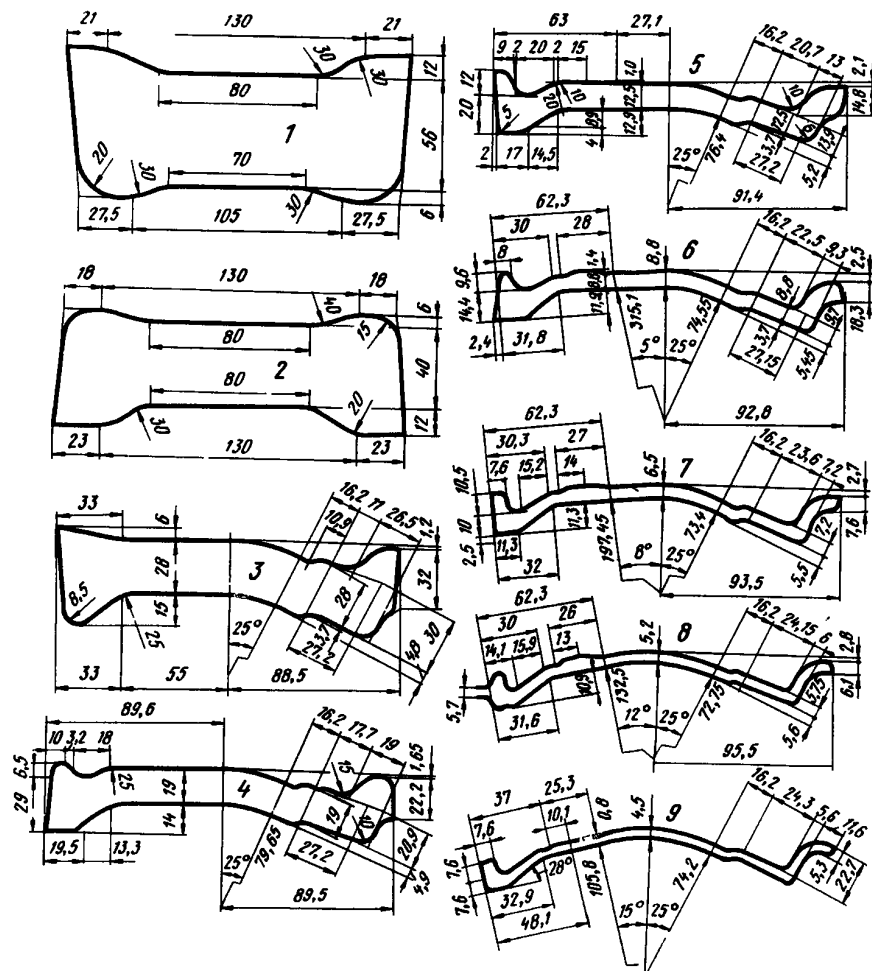


Рис. 59. Размеры калибров для прокатки профиля замочного основания обода колеса 6.00F-16

опыта прокатки фасонных профилей на стане 550 распределяют общее число проходов по клетям следующим образом: шесть — четыре — один. При этом первые два прохода осуществляют в ящичных калибрах. Фасонные калибры по ходу прокатки обозначают номерами 1—9. В качестве исходной принята заготовка с прямоугольным поперечным сечением 114X148 мм.

Режим обжатий замочной части, полотна и бортовой части профиля (см. рис. 54 и 57) выбирают по табл. 3 на основании уравнений (14). Толщина полосы, задаваемой в калибр 1, равна 74 мм. Углы изгиба полотна профиля со стороны замочной части заданы в соответствии с уравнениями (15):  $\beta_5 = 0^\circ$ ;  $\beta_6 = 5^\circ$ ;  $\beta_7 = 8^\circ$ ;  $\beta_8 = 12^\circ$ ;  $\beta_9 = 15^\circ$ .

Определение средней линии изогнутой части на стыке полотна и бортовой части (см. рис. 58) трудностей не представляет и производится на основании геометрических построений. Ширина замочной части фасонных калибров 3—9 остается постоянной и равной 62,3 мм. Уширение полностью отсутствует.

Так как увеличение изгиба полотна профиля по ходу прокатки происходит в средней части полосы, то выступ замочной части поступает в очаг деформации предварительно подготовленным к точному совпадению с калибром за счет внеконтактной деформации. Для надежного выполнения наружного нижнего угла замочной части в калибрах 7 и 8 предусмотрены дополнительные ложные фланцы.

В калибрах 6 и 8 разъем со стороны бортовой части выполнен снизу. Так как материал валков — полутвердый чугун, то при деформации наклонного участка бортовой части не исключено скалывание валков в ослабленных местах. Поэтому со стороны бортовой части в калибрах 6 и 8 сделан с целью увеличения прочности этого участка валков специальный уклон с закруглением по радиусу, что позволяет полностью устранить скалывание валков в ослабленном сечении.

По разему кромки выступа замочной части готового профиля в соответствии с данными рис. 58 предусмотрен не только радиус до 4 мм, но также и скос 4X4 мм. Это учтено формой выступа в калибре 8. Скос на кромке выступа не ухудшает товарного вида и качества готового профиля, но значительно облегчает задачу наилучшего заполнения выступа в чистовом калибре.

При опытной прокатке профиль обода колеса 6.00F-16 получен в соответствии с техническими условиями.

#### КАЛИБРОВКА И ПРОКАТКА ПРОФИЛЕЙ ЗАМОЧНЫХ ЧАСТЕЙ ДЛЯ ОБОДОВ КОЛЕС

Прокатка профилей ободов для колес большегрузных автомобилей типа БелАЗ на крупносортовых или рельсобалочных станах в связи с их относительно малой потребностью экономически нецелесообразна. Но в то же время изготовление этих профилей механической обработкой прямоугольных или фасонных заготовок на металлорежущих станках приводит к большому перерасходу металла. Поэтому профили для ободов широкопрофильных колес 330-533, 330-462 было предложено изготавливать из двух частей — бортовой и замочной, полученных прокаткой, с последующей сваркой одним швом. При этом прокатка бортовой и замочной частей может быть освоена на станах с валками диаметром 550—600 мм, для которых предельно допустимая минимальная партия проката соизмерима с годовой потребностью профиля [69].

Прокатка профилей замочной части (на рис. 60 профиль представлен в изогнутом виде) связана со значительными трудностями. Сравнительно сложная асимметричная форма профиля обуславливает неустойчивость процесса прокатки. Отсутствие высоких элементов (т.е. бортовой части) и прямолинейная форма полотна не обеспечивает достаточного центрирования и профиль при прокатке может смещаться в поперечном направлении.

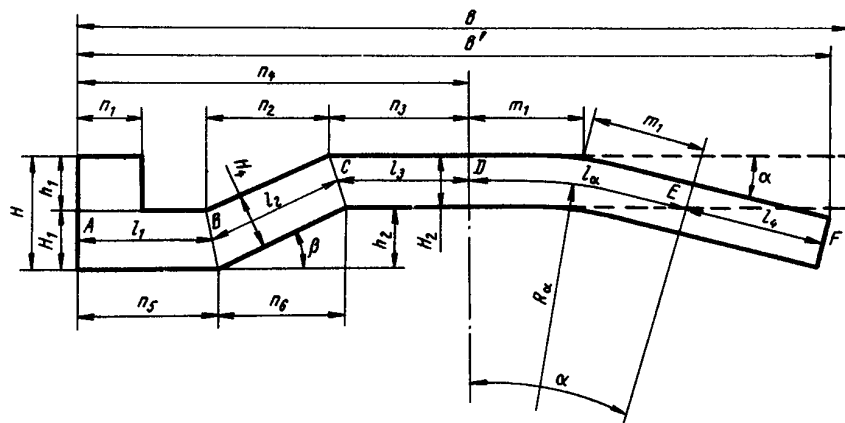


Рис. 60. Расчетная схема калибра для прокатки замочной части обода колеса 330-533 и 330-462

нии. Вследствие этого на готовом профиле не выполняются геометрические размеры выступа (бурта) замочной части или образуются заусенцы на его внешней кромке и закат у основания выступа; возможна ребровая кривизна профиля и т.д. Для получения прямого угла между внутренней боковой кромкой выступа и основанием канавки чистовой калибр должен быть расположен под некоторым углом к оси валков. Однако в этом случае неравномерное распределение окружных скоростей валков по ширине калибра, возникающее вследствие разности катающих диаметров, приводит к возникновению сил, вызывающих скручивание профиля при прокатке. Поэтому с целью устранения указанных недостатков и обеспечения нормальных условий прокатки профили замочных частей для ободов колес целесообразно прокатывать в изогнутом виде.

При изгибе профиля уменьшается разность катающих диаметров и неравномерность распределения окружных скоростей валков по ширине калибра. Изгиб полотна профиля препятствует также поперечному смещению раската, улучшает условия его центрирования в валках и обеспечивает постоянство геометрических размеров профиля по всей длине раската.

Методика расчета калибровки профиля замочной части для сварных ободов большегрузных автомобилей изложена в работе [70].

Радиус изгиба полотна профиля рекомендуют принимать  $\sim 15 H_2$  (рис. 60) при угле изгиба  $\alpha$ , равном  $20 - 25^\circ$ . Размеры чистового калибра определяют с учетом коэффициента термического расширения, возможностей настройки стана и износа калибра в процессе прокатки.

Толщину полотна  $H_2$  и высоту замочной части  $H_1 + h_1$  принимают по номинальным размерам, так как эти размеры легко регулируют изменением зазора между валками. Ширину выступа  $n_1$  принимают по минусовому допуску, а высоту его  $h_1$  — по плюсовому, так как в процессе прокатки вследствие износа валков толщина выступа будет увеличи-

ваться, а его высота — уменьшаться. Ширину калибра определяют с учетом плюсового допуска.

Для прокатки профилей замочной части обода колеса вполне достаточно шести фасонных калибров. В отдельных случаях число их может быть увеличено до семи. Для контроля высоты выступа при его формировании обычно предусматривают два контрольных калибра полузакрытого типа, которые по сравнению с контрольными закрытыми имеют следующие существенные преимущества:

1. Односторонний уклон боковой поверхности контрольного и чистового калибров.

2. Возможность расположения калибра под большим углом к горизонтали, что позволяет сохранить прямой угол между внутренней поверхностью выступа и горизонтальным участком замочной части.

3. Уменьшение вероятности образования заката у основания выступа с его внутренней стороны (при переполнении закрытого контрольного калибра раскат за счет давления боковой поверхности чистового калибра смещается в направлении полотна профиля, что вызывает смятие внутренней поверхности выступа с образованием заката у его основания).

Высоту исходной заготовки  $H_0$ , задаваемой в первый фасонный калибр по ходу прокатки, определяют по формуле, полученной на основании анализа и обобщения данных заводских калибровок  $H_0 = (2,5 + n)(h_1 + 0,5 H_1)$ , где  $n$  — число полузакрытых контрольных калибров.

Режим обжатия рассчитывают вначале для полотна профиля. Коэффициенты обжатия для наклонного и горизонтального участков замочной части принимают равными коэффициенту обжатия полотна. Неравномерность высотной деформации допускают в первых двух по ходу прокатки фасонных калибрах.

В основе методики лежит построение всех фасонных калибров по конструктивным точкам  $A, B, C, D, E$  средней линии готового профиля (см. рис. 60), сохраняющих постоянное положение во всех фасонных калибрах. Угол изгиба  $\alpha$  и радиус изгиба полотна  $R_\alpha$  по средней линии принимают постоянными во всех фасонных калибрах. Таким образом, калибровку рассчитывают производить при постоянной средней линии профиля.

Уширение профиля происходит за счет увеличения длины средней линии  $l_4$  прямолинейного элемента полотна и принимают равным

$$\Delta l_4 = k \Delta H_2, \quad (21)$$

где  $k$  — показатель уширения, равный  $0,5 - 0,9$  (меньшее значение коэффициента  $k$  в черновых калибрах, большее — в чистовых).

При прокатке заготовки в первом фасонном калибре уширение определяют не по средней линии, а по габаритным размерам раскатов при  $k = 0,2$ .

Формирование выступа замочной части, который представляет наиболее ответственный элемент профиля, производится в открытых калиб-

рах и полузакрытых контрольных. В открытых калибрах отсутствует высотное обжатие выступа и происходит приращение его высоты.

В контрольных полузакрытых калибрах осуществляется высотное обжатие с целью получения необходимой формы верхней кромки выступа и постоянной его высоты по всей длине раската. В контрольных калибрах для предупреждения образования заката у основания внутренней грани выступа ширину ручья, формирующего выступ, принимают на 0,5 – 1,0 мм больше соответствующего размера задаваемой полосы. Коэффициенты бокового обжатия по ширине выступа в чистовых калибрах принимают 1,02 – 1,05, а в черновых на конце выступа 1,05 – 1,15 и у основания выступа 1,15 – 1,25.

При прокатке профиля замочной части обода возможна утяжка нижней части левой наружной грани профиля. Для компенсации и предупреждения утяжки предусматривают ложные фланцы во всех калибрах, за исключением чистового и первого по ходу прокатки фасонного калибра. Ширина ложного фланца примерно в 1,5 – 2,0 раза больше ширины выступа, высота ложного фланца составляет 1,0 – 3,0 мм.

Размеры фасонных калибров определяют (см. рис. 60) на основании геометрических зависимостей

$$\left. \begin{aligned} n_5 &= l_1 + 0,5 H_1 \operatorname{tg} \beta_2 - 1/2 \cos \beta_2 \sin \beta_2 + H_4 / 2 \sin \beta_2; \\ h_2 &= 0,5 H_1 + l_2 \sin \beta_2 - 0,5 H_2; \quad n_6 = h_2 / \operatorname{tg} \beta_2; \\ n_2 &= (h_2 + H_2 - H_1) / \operatorname{tg} \beta_2; \quad m_1 = (R_\alpha + 0,5 H_2) \operatorname{tg} \alpha / 2; \\ B &= n_4 + m_1 + (m_1 + l_4) \cos \alpha. \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

Для обеспечения центрирования полосы в валках и улучшения условий деформации (особенно выступа замочной части) чистовой и все фасонные калибры рекомендуют располагать под углом к оси валков. При этом уклон обычно составляет 15 – 20 %.

После расчета калибровки производят уточнение высоты исходной заготовки  $H_0 = (H_1^I + h_1^I) (3,5 - 1,1 \sqrt{7,04 - 1,82(H_0/H_1^I)})$ , где  $H_1^I + h_1^I$  – общая высота замочной части в первом по ходу прокатки фасонном калибре;  $H_1^I$  – высота горизонтального участка замочной части в первом фасонном калибре.

Расчет  $H_0$  ведут методом последовательных приближений. В качестве исходной заготовки, задаваемой в первый фасонный калибр, целесообразно использовать заготовку асимметричного сечения клинообразной формы. Из более массивной части такой заготовки формируют замочную часть профиля, а из тонкой части – полотно профиля. Исходную заготовку клинообразной формы следует, если это возможно по условиям прокатки, формировать в ребровом калибре. При этом за счет изменения ширины заготовки можно эффективно регулировать степень заполнения металлом фасонных калибров по их ширине.

Рассмотренная методика расчета калибровки замочной части профиля обода колеса была использована при проектировании калибровки профиля

замочного основания обода ПР15.00-022 из стали СтЗсп на полупромышленном стане 500.

При расчете калибровки исходили из равенства коэффициентов обжатия для полотна, наклонного и горизонтального элементов замочной части для калибров 4 – 7. В калибрах 2 и 3 предусматривали неравномерность обжатия по элементам профиля. Геометрические размеры калибров определяли по соотношениям (22).

Для уменьшения неравномерности деформации в первых двух фасонных калибрах ребровой калибр выполнен клинообразным. При обжатии заготовки по ширине в ребровом калибре предусмотрено свободное уширение до 10 мм в одном из ручьев этого калибра, а в другом ручье, наоборот, дополнительное обжатие (защемление) боковыми поверхностями калибра на величину 4 мм. Раскат, выходящий из ребрового калибра,

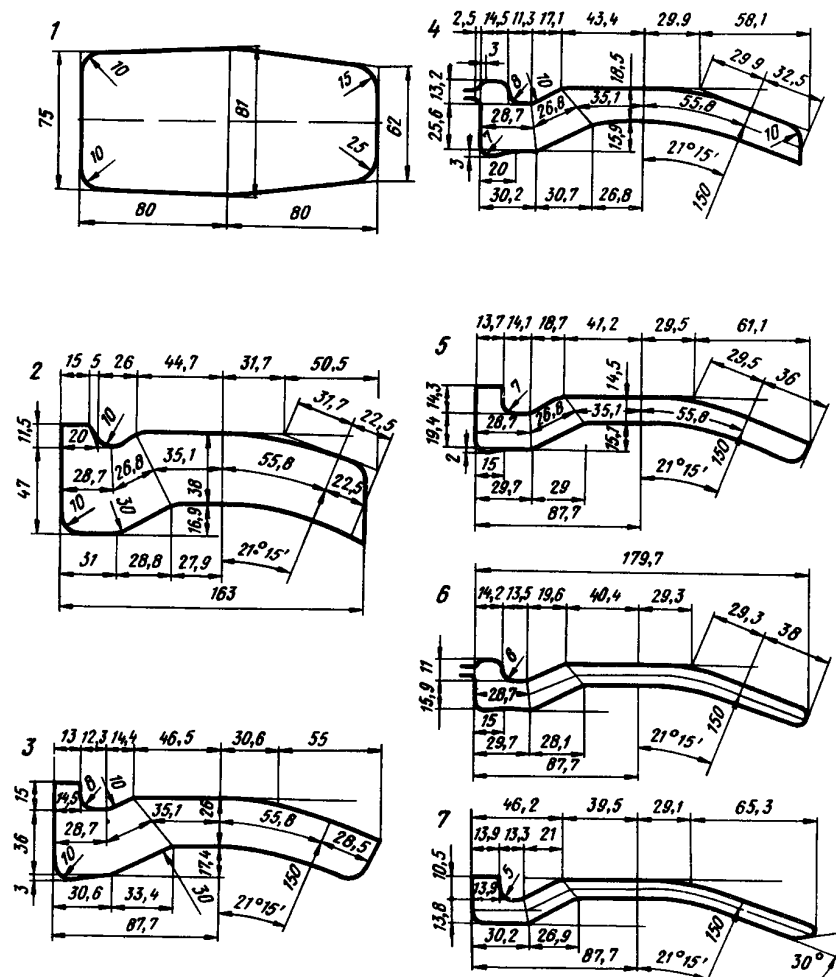


Рис. 61. Калибровка профиля замочной части обода колеса 330-533 и 330-462

имеет клинообразную форму. При прокатке полосы в ребровом калибре происходит изгиб раската в сторону валка с узким ручьем. Для предотвращения изгиба необходимо предусматривать увеличение диаметра для валка с узким ручьем.

Для обеспечения приращения высоты выступа замочной части используют при формировании профиля подряд два открытых черновых калибра, причем калибр 2 имеет разъем по диагонали, что позволяет изменением степени защемления (при задаче в калибр раската разной ширины) регулировать высоту выступа. В контрольных полузакрытых калибрах для уменьшения возможности образования закатов у основания выступа со стороны его внутренней грани ширина ручья, формирующего выступ, принята на 0,6 — 1,0 мм больше соответствующего размера у задаваемой полосы.

Ширину калибров определяли по изменению длины средней линии профиля. Уширение рассчитывали по уравнению (21); показатель уширения равен 0,5 — 0,85.

При опытной прокатке профиля замочной части было получено, за исключением ширины полотна, полное соответствие всех геометрических размеров техническим условиям. Ширина полотна была на 3,5 мм меньше расчетной. Анализ темплетов показал, что наблюдали незаполнение всех фасонных калибров со стороны полотна. Для получения необходимой ширины профиля высота ребрового калибра была увеличена со 155 до 160 мм.

Калибровку после ее корректировки (рис. 61) использовали при освоении профиля замочного основания обода колеса на промышленном стане 550 [ 69]. Исходная заготовка имела сечение 200X67 мм.

#### ПРОКАТКА ПРОФИЛЯ ОБОДА КОЛЕСА АВТОМОБИЛЯ ЗИЛ-157

Прокатка профилей ободов второго типа вследствие отсутствия замочной части может производиться без изгиба полотна в чистовом калибре.

При разработке калибровки (рис. 62) профиля обода колеса автомобиля ЗИЛ-157 на линейном трехклетевом стане 550 [ 71] была принята развернутая конструкция калибров, обеспечивающая в процессе прокатки простую настройку стана, хорошую восстанавливаемость калибров при переточках и небольшой расход прокатных валков.

Для того чтобы во время прокатки не происходило смещения валков относительно друг друга, проекции правой и левой частей развернутых калибров на вертикальную ось должны быть приблизительно равными. В калибрах, где профиль первоначально формируется, для лучшего выполнения бортовой части можно допускать разницу в проекциях.

При расчете калибровки ширину калибров определяли по средней линии профиля с учетом уширения, после чего производили наложение чертежей шаблонов и соответственно корректировали ширину. Такой двойной контроль обусловлен сложным характером формоизменения в развернутых калибрах, где кроме деформации происходит смещение

задаваемой полосы относительно калибра и штамповки в месте соединения бортовой части с полотном.

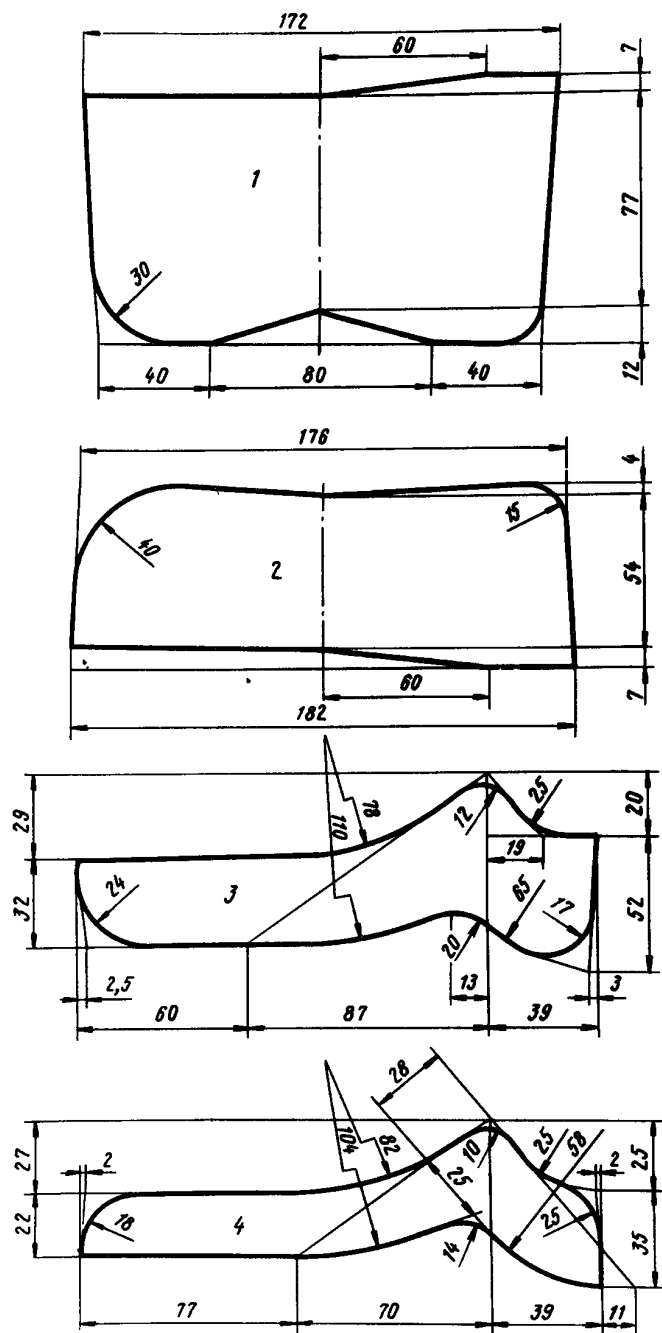
Чистовой калибр (рис. 62), в котором предусмотрено выпрямление профиля, расположен на валках с учетом равенства вертикальных проекций обеих частей профиля, что исключает смещение валков при прохождении полосы. Угол наклона полотна относительно горизонтальной оси равен  $15^\circ$ . Такое расположение чистового калибра, обеспечивая прокатку в соответствии с техническими условиями и в пределах допусков, все же имеет недостатки. При рабочем положении валков (т.е. при прохождении полосы) зазор между нижним и верхним валками со стороны торцевой части полотна из-за недостаточной жесткости клетки достигает 1,5 мм и в месте разъема затрудняется получение острого угла. Поэтому в этом месте на готовом профиле допускают закругление радиусом до 3 мм. В черновых калибрах угол наклона полотна изменяется в пределах  $20 - 35^\circ$ , постепенно увеличиваясь против хода прокатки.

Валковая арматура для развернутых калибров имеет несложную конструкцию и состоит из выводных проводок и направляющих вводных линеек или коробок, закрепленных на проводковых брусках. Вводные пропуски устанавливают только в чистовом калибре, причем с их помощью возможна некоторая регулировка размеров готового профиля. В обжимной клетке, где осуществляется четыре пропуска, на задней и передней стороне стана вместо линеек устанавливают вводные столы, отлитые из чугуна. Зазор между вводными столами и прокатными валками желательно предусматривать возможно меньше (8 — 12 мм), иначе при прокатке в калибрах 3 и 4 при выходе полосы из валков происходит срез боковой поверхности бортовой части, что затрудняет задачу раската в последующий калибр.

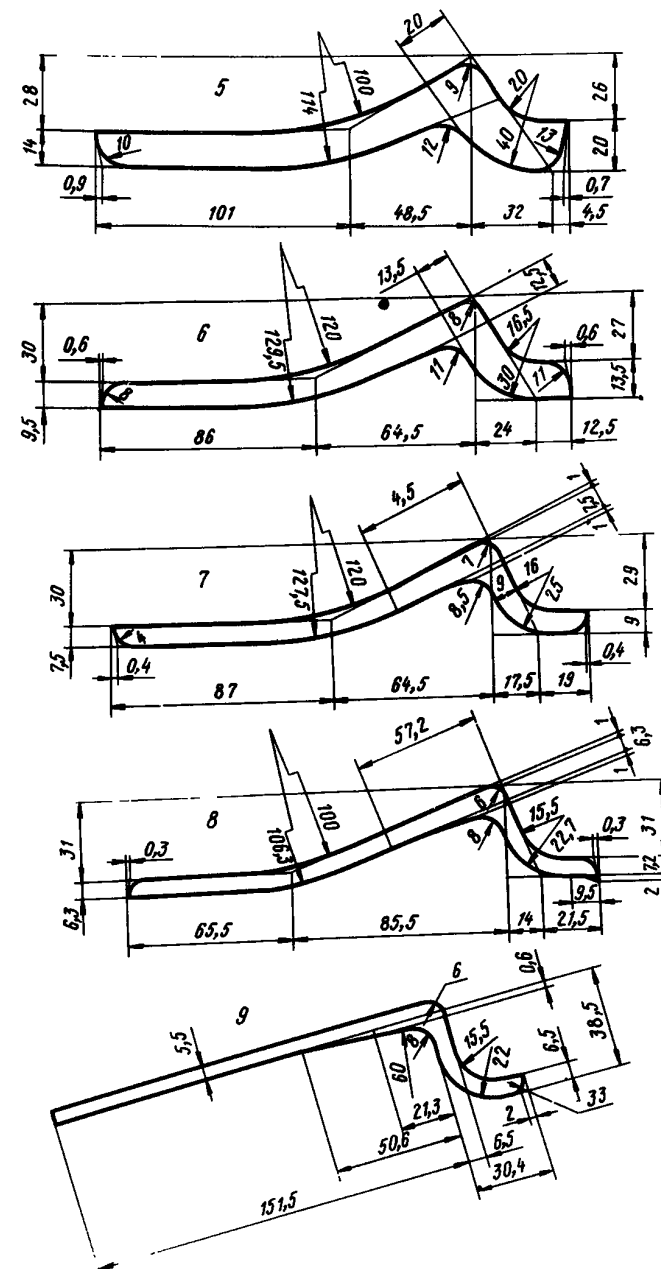
После опытной прокатки, в процессе которой имели место некоторые отклонения от расчетной схемы, были увеличены коэффициенты обжатия элементов бортовой части в калибре 7. Это изменение калибровки было необходимо вследствие повышенного удлинения полотна в этом калибре. В результате полотно профиля получали волнистым, чему способствовала также несимметричная форма полосы. Из-за волнистости полотна и при некотором незаполнении предчистового калибра на готовом профиле наблюдали колебание ширины полотна. Однако разница в ширине полотна по длине полосы не превышала допускаемых отклонений.

Кроме того, при освоении профиля длина полотна в калибре 4 была несколько больше необходимой. Поэтому в калибре 5 немного ниже разъема калибра со стороны торца замочной части из-за слишком большой степени стеснения получали во всей длине тонкий выступ металла в виде заусенца.

В последующем по ходу прокатки калибре из-за больших закруглений заусенец не закатывался. Температура заусенца быстро понижалась и при удлинении полосы происходил разрыв заусенца по длине полосы. На готовом профиле получали плены, которые были устранены только смещением валков в обжимной клетке.



**Рис. 62. Калибровка профиля обода**



**для автомашины ЗИЛ-157**

При опытной прокатке профиля обода для автомашины ЗИЛ-157 размеры профиля получены в соответствии с техническими условиями.

## КАЛИБРОВКА И ПРОКАТКА ОБОДОВ НА НЕПРЕРЫВНЫХ СТАНАХ

Профили ободов для колес автомобилей вследствие их сложной формы обычно прокатывают на станах линейного типа с валками диаметром 550 — 600 мм. Кроме того, годовая потребность в этих профилях, особенно для машин повышенной грузоподъемности, сравнительно невелика и поэтому их прокатка на непрерывных станах во многих случаях оказывается нецелесообразной.

В то же время в связи с быстрым развитием автомобильной промышленности и унификацией профилей проката для автомобилестроения потребность в профилях для ободов автомобилей постоянно увеличивается. Также постоянно повышаются требования к качеству этих профилей и особенно к их точности.

Существенное повышение качества и точности размеров профилей ободов может быть достигнуто только при их прокатке на современных непрерывных станах, обеспечивающих высокую температуру конца прокатки и заданную точность размеров. Учитывая, что в настоящее время накоплен достаточный опыт прокатки профилей для ободов разнообразной формы, разработаны методы калибровки этих профилей и основы технологии их производства, представляется вполне реальной и экономически выгодной прокатка профилей для ободов колес автомобилей на непрерывных станах.

В практике отечественного прокатного производства уже имеется [3, 72] опыт прокатки профиля обода 24 ч на непрерывном стане 300. Калибровка (рис. 63) рассчитана с учетом сохранения коэффициента обжатия во всех элементах профиля каждого фасонного калибра. С целью увеличения прочности диаметры валков чистовой клетки приняты максимально возможными. Число оборотов валков чистовой клетки выбрано ближе к минимальному с тем, чтобы не выйти из диапазона регулировки чисел оборотов в черновых клетях, имеющих номинальные диаметры валков.

В чистовом калибре коэффициент обжатия по дну канавки равен 1,54 и значительно больше, чем по полотну, где  $1/\eta = 1,3$ . Эта корректировка была сделана после опытной прокатки, при которой наблюдали образование заката в нижних углах канавки замочной части. При принятом интенсивном обжатии заката в канавке не образуется. Для компенсации увеличенного обжатия по дну канавки (т.е. во избежание возможной серповидности полосы) и с целью лучшего заполнения в чистовом калибре бортовой части предусмотрено в предчистовом калибре утолщение бортовой части в виде ложного фланца. Кроме того, высота выступа в предчистовом калибре на 0,75 мм ниже, чем в чистовом (из расчета приращения его от интенсивного обжатия в открытой части чистового калибра и дополнительного обжатия от возможного заполнения предчистового калибра у места разъема валков).

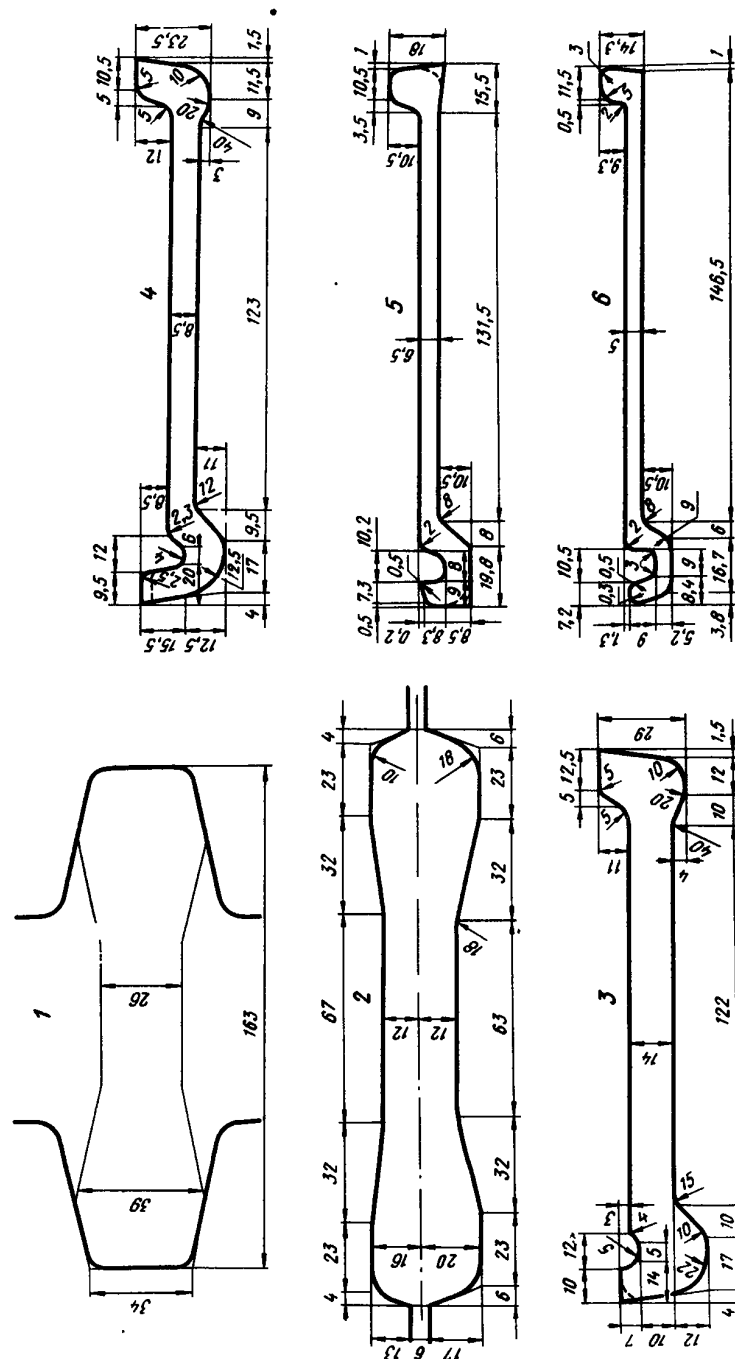
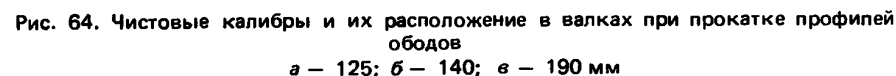


рис. 63. Размеры калибров для прокатки профиля обода 24 ч

Точность размеров прокатываемых профилей от  $+0,125$  до  $-0,25$  мм, за исключением тех размеров (в частности общей ширины обода и длины бортовой части), высокая точность которых практически не требуется.



Количество фасонных калибров в зависимости от формы и размеров профиля обода равно семи или девяти.

На рис. 64, а и б приведены размеры чистовых калибров и расположение их в валках при прокатке профилей ободов 125 и 140 мм на непрерывном двенадцатиклетевом стане 350. Клетки I, II и III имеют горизонтальное расположение валков и общий привод от одного электродвигателя. На остальных клетях установлены индивидуальные электродвигатели с регулировкой числа оборотов. Клетки IV, VIII и X — с вертикальными валками. Длина всего стана 41,7 м, максимальное число оборотов валков чистовой клетки составляет 800 об/мин.

Настройку профиля обода 125 мм осуществляют горизонтальной и вертикальной установкой валков. Точность прокатки для длины горизонтального участка (размер 19,8 мм) бортовой части (рис. 64, а) составляет  $\pm 0,8$  мм, а для радиуса изгиба полотна от 0,75 мм до  $-3$  мм.

При прокатке профилей обода 125 и 140 мм на стане 350 вследствие общего привода клеток I, II и III приходится соблюдать в этих клетях постоянство секундных объемов. Для профиля 125 мм при его прокатке толщина по ширине почти не изменяется, но возникают затруднения из-за малой толщины стенки, которая составляет всего лишь 3,4 мм. У профиля 140 мм толщина по ширине изменяется незначительно.

Разъем валков в чистовых калибрах находится в центре закругления радиуса конца наружной грани замочной части. Внутренняя поверхность выступа замочной части должна быть выполнена таким образом, чтобы исключить перепополнение для замочной части.

Во избежание бокового искривления полос необходимо соблюдать пропорциональность вертикальных обжатий по ширине. В первых трех проходах, где производится первоначальное формирование профиля обода, эти обжатия, естественно, не могут быть пропорциональными. Поэтому при расчете калибровки делят калибр пополам и соблюдают равенство площадей левой и правой частей.

Для обеспечения надежного формирования замочной части, и в первую очередь ее канавки, обычно ободы прокатывают с изогнутым полотном. Выпрямление полотна профиля производится в холодном состоянии при совмещении этой операции с процессом загибки профиля в колесо.

Профиль обода 140 мм (рис. 64, б) по конфигурации значительно сложнее профиля обода 125 мм. Для возможности его прокатки замочная часть отогнута от вертикали под углом  $12^\circ$ , а бортовая часть — под углом  $21^\circ$ . Общий угол изогнутого участка составляет  $33^\circ$ . Кроме изгиба полотна предусмотрен дополнительный отгиб бортовой части на  $2^\circ$ . Такой изгиб профиля позволил получить одинаковые минимальные диаметры нижнего валка для бортовой и замочной частей. Сечение профиля хорошо сбалансировано, так как нейтральная линия проходит через центр полотна.

В связи с тем, что размеры канавки должны быть получены с большей точностью принят для замочной части разъем снизу. Поэтому выступ замочной части формируется в закрытой части калибра, что и обеспечивает высокую точность его размеров. Точность высоты выступа замочной части должна быть  $\pm 0,8$  мм.

На рис. 64, в приведены размеры чистового калибра для прокатки профиля обода 190 мм на непрерывном стане 400. В связи с изгибом полотна под углом  $30^\circ$  угол между боковой поверхностью бортовой части и нейтральной линией составил  $71^\circ 30'$ , а между внутренней стороной выступа замочной части и нейтральной линией  $78^\circ 30'$ . Такая форма калибра обеспечивает хорошее качество поверхности готового профиля в этих местах и повышает стойкость валков. Разъем калибра со стороны замочной части сделан снизу, т.е. так же, как и для профиля обода 140 мм. При этом возможна регулировка очертаний выступа (высоты и толщины), что весьма важно, так как боковое стопорное кольцо автопокрышки должно свободно скользить при ее сборке и разборке.

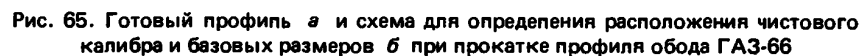
При проектировании калибровок профилей ободов положение нейтральной линии каждого калибра определяют планиметрированием площадей. По этому способу нейтральную линию проводят так, чтобы площади калибра над ней и под ней были равны.

Так как точность большинства размеров ободов 125, 140, 150 и 190 мм колеблется от  $+0,125$  до  $-0,25$  мм, то соответственно шаблоны и расточка ручьев должны быть выполнены с высокой точностью. Поэтому для всех ручьев (за исключением первых трех), необходимо изготавливать эталонные шаблоны, которые служат для контрольной проверки рабочих, посадочных и вспомогательных шаблонов. Максимальная производительность стана 400 при прокатке профиля обода 150 мм в период его освоения составила 680 т в смену.

#### КАЛИБРОВКА Z-ОБРАЗНОГО ПРОФИЛЯ ДЛЯ ОБОДА КОЛЕСА АВТОМОБИЛЯ ГАЗ-66

При освоении профиля Z-образной формы для обода колеса автомашины ГАЗ-66 (рис. 65, а) на линейном трехклетевом стане 550 была разработана методика калибровки [67], которая впоследствии была использована при проектировании калибровки профиля бортового кольца [74]. В основу методики положено полное совпадение средних линий боковых элементов профиля (бортовой части и полки) во всех фасонных развернутых калибрах и постоянство базовых размеров. Z-образный профиль для ободов прокатывают без изгиба полотна. Черновые калибры имеют развернутую форму, аналогичную той, которую используют при прокатке зетовой стали [3]. Количество фасонных калибров на основании практического опыта работы принимают равным 6 — 8, что вполне достаточно для получения зетовой стали, в том числе и тонкостенной. Чистовой калибр располагают в валках таким образом, чтобы нижние края бортовой части и полки находились на одной горизонтальной линии  $x-x$  (рис. 65, б).

Чтобы обеспечить правильное заполнение углов профиля (точки В и С) необходимо создать условия точного совпадения углов при прокатке в каждом фасонном калибре, т.е. для всех сохранять постоянными базовые размеры  $b_1$  и  $H$ , которые являются сторонами прямоугольника BECF.


$$\left. \begin{aligned} B_3 &= B_4 + B_1 + r_1 - r_1 \sin \pi/4 + B_2 \sin \pi/4, \\ H_7 &= H_8 + h_6 + r_1 \sin \pi/4 + B_2 \sin \pi/4. \end{aligned} \right\} \quad (23)$$
$$b_1 = (B_1 - H_1 \operatorname{tg} \beta) \cos \beta; \quad H = b_1 \operatorname{tg} \beta + H_1 / \cos \beta. \quad (24)$$

120

[illegible]

121

Ординаты  $b_3$  и  $b_4$  центров радиусов  $R_1$  и  $R_2$  в условном чистовом и черновых калибрах равны

$$\left. \begin{aligned} b_3 &= R_1 \operatorname{tg} \gamma / 2 - (H_6 - 0,5 h_2) \operatorname{tg}(\pi / 2 - \gamma), \\ b_4 &= R_2 \operatorname{tg} \gamma / 2 - (H_6 - 0,5 h_5) \operatorname{tg}(\pi / 2 - \gamma). \end{aligned} \right\} \quad (30)$$

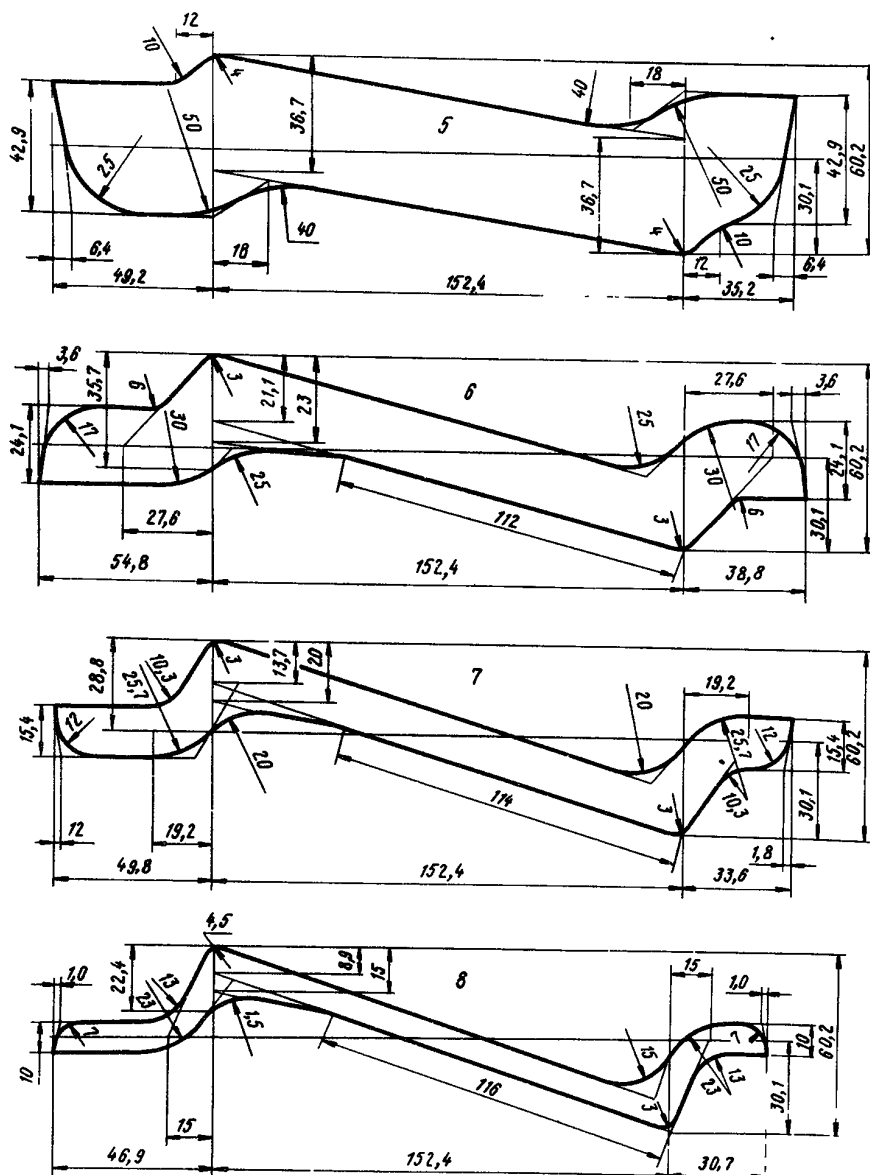
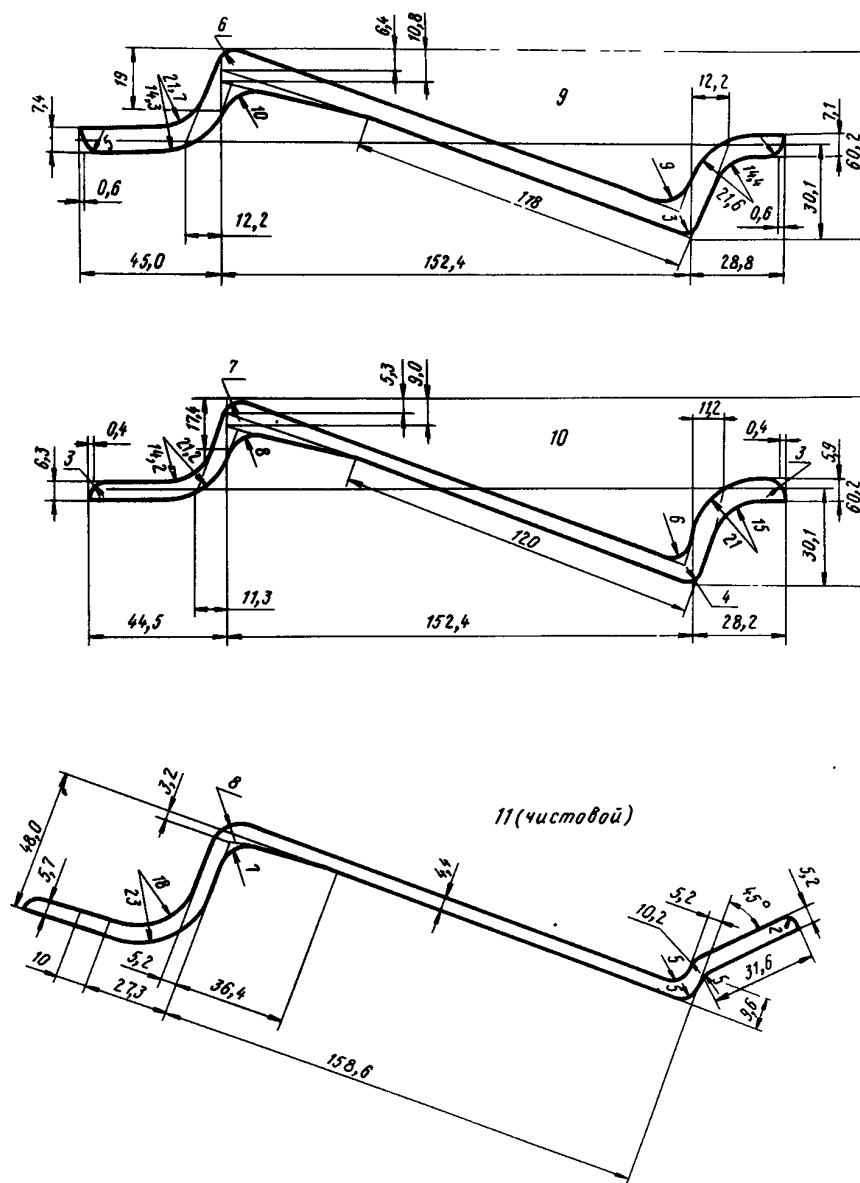


Рис. 67. Размеры калибров для

При выборе радиусов  $R_1$  и  $R_2$  и размера  $H_6$  необходимо принимать во внимание конфигурацию бортовой части и полки профиля в чистовом калибре и дополнительно уточнять конфигурацию условного чистового калибра наложением его на чистовой калибр. Расположение средних линий горизонтальных элементов бортовой части и полки на одной прямой,



прокатки профиля обода ГАЗ-66

принятое для всех черновых калибров, способствует существенному уменьшению осевых усилий, и, следовательно, устойчивости процесса прокатки.

Далее на основании практического опыта и в зависимости от особенностей каждого конкретного стана, для которого проектируют калибровку, выбирают коэффициенты обжатия для отдельных элементов профиля по пропускам.

Для всех черновых фасонных калибров расстояние между углами полотна (вершинами профиля) по горизонтали и вертикали, радиусы средних линий бортовой части и полки и положение средних линий горизонтальных элементов бортовой части и полки принимают постоянными:  $b_1 = \text{const}$ ;  $R_1 = \text{const}$ ;  $H_6 = \text{const}$ ;  $H = \text{const}$ ;  $R_2 = \text{const}$ .

Таким образом, в процессе прокатки полотно профиля формируется при постоянных размерах по горизонтали и вертикали между вершинами профиля. Формоизменение полотна происходит при обжатии его толщины и расстояния между вершинами профиля и при расчете калибровки увеличение длины средней линии полотна не учитывают. Рассчитанное по формуле (1) полное уширение в калибре распределяют с учетом принятой степени стеснения пропорционально длинам средних линий бортовой части и полки. Уширение определяют для минимального допустимого диаметра валков. В чистовом калибре уширение свободное. В остальных калибрах уширение равно 0,6 – 0,8 от свободного.

Для развернутых черновых калибров (рис. 66, б) уменьшение по ходам по ходу расчета углов раскрытия  $\gamma$  бортовой части и полки принимают равным уменьшению угла наклона полотна  $\beta$ :  $\Delta\gamma = \Delta\beta$ .

Развернутые калибры рассчитывают в соответствии с рис. 66, б в следующем порядке. Толщину  $h_1$  полотна по вертикали в развернутых калибрах определяют по формуле

$$h_1 = \frac{\sqrt{H^2 + (b_1^2/H_1^2 - 1)(H^2 + b_1^2)} - 2H}{(b_1^2/H_1^2 - 1)} \quad (31)$$

По этой же формуле подсчитывают и толщину по вертикали для утолщения полотна у основания бортовой части.

Угол наклона полотна определяют по формуле

$$\beta = \arctg [b_1 / (H - h_1)]. \quad (32)$$

Рассчитывают толщину по вертикали наклонного элемента бортовой части  $h_3 = H_3 / \cos \gamma$ .

Затем определяют длину средней линии полотна

$$L_1 = b_1 / \cos \beta - 2(LK / \cos \beta), \quad (33)$$

где  $LK = 0,5(h_3 - h_1) / (\tg \beta + \tg \gamma)$ .

Длину средней линии  $l_3$  бортовой части без горизонтального элемента шириной  $b_2$  вычисляют по формулам

$$\left. \begin{aligned} l_3 &= \smile GT + TM + MK, \\ \text{где } \smile GT &= 0,01745 R_1 \gamma, \quad MK = LK / \cos \gamma, \\ TM &= \frac{H_6 - 0,5 h_3 - R_1 (1 - \cos \gamma)}{\sin \gamma}. \end{aligned} \right\} \quad (34)$$

Ордината  $b_3$  центра радиуса  $R_1$  равна

$$b_3 = R_1 \tg \gamma / 2 + (H_6 - 0,5 h_3) \tg (\pi / 2 - \gamma). \quad (35)$$

Аналогично по формулам (32), (34) и (35) определяют размеры полки профиля в развернутых калибрах.

Радиусы закруглений в развернутых калибрах выбирают конструктивно. Нейтральные линии фасонных калибров проводят через их центры тяжести. Учитывая условия изгиба бортовой части и полки в чистовом калибре, разъемы валков с обеих сторон калибров выполняют в одну сторону.

Окончательные размеры калибров приведены на рис. 67.

## Глава 5. ПОЛОСОВЫЕ ПРОФИЛИ С УТОЛЩЕНИЯМИ ПО КРАЯМ

### СОРТАМЕНТ И СПОСОБЫ ПРОКАТКИ

Полосовые профили с утолщениями по краям широко используют в автотракторной промышленности при изготовлении звеньев дверных и кузовых петель (рис. 68), распорных колец колес и других деталей. Утолщения профиля по краям называются головками или шарнирами, а примыкающая к головкам полосовая часть — полотном профиля.

Полосовые профили с утолщениями по краям прокатывают обычно в двояном виде. Утолщения на профилях для деталей с шарнирами имеют преимущественно круглую форму или же близкую к ней.

При прокатке в двояном виде обеспечивается симметрия профиля (а соответственно и калибров) относительно вертикальной оси и значительно упрощается технология прокатки, исключается изгиб полос при прокатке и, особенно, при охлаждении на холодильнике, упрощается настройка стана. Прокатка в двояном виде особенно важное значение приобретает при небольшой ширине одинарного профиля, так как при сдвигании отношение площадей неодинаково обжимаемых частей (головки и полотна) увеличивается. Прокатка таких профилей в одинарном виде приводила бы к значительному изгибу и скручиванию полос. В то же время при значительной ширине сдвигание профилей привело бы к невозможности его прокатки на существующих прокатных станах из-за слишком большой ширины при сравнительно незначительной толщине полотна профиля.

Если ранее для дверных петель применяли горячекатаные специальные профили, то за последние годы все большее число автозаводов переходит на профили высокой точности, хотя они имеют значительно более высо-

кую стоимость. Причина этого заключается в том, что для горячекатаных профилей допускают по условиям технологии значительные отклонения по геометрическим размерам.

Из-за больших допускаемых отклонений на геометрические размеры горячекатаного профиля (рис. 68, з), предназначенного для изготовления семи различных видов дверных и капотных петель автомобиля "Москвич", после сверления отверстия в головке шарнира толщина стенки может быть неодинакова по периметру. Толщина стенки шарнира получается одинаковой лишь в тех случаях, когда головки профиля представляют собой геометрически правильный круг. Однако получить в массовом количестве профиль с идеально круглыми головками с помощью горячей прокатки в двухвалковых клетях не представляется возможным. Чем больше поле допусков, тем больше и разностенность головки шарнира.

Таким образом, использование горячекатаных профилей для дверных петель снижает точность изготовления шарнирных соединений. В резуль-

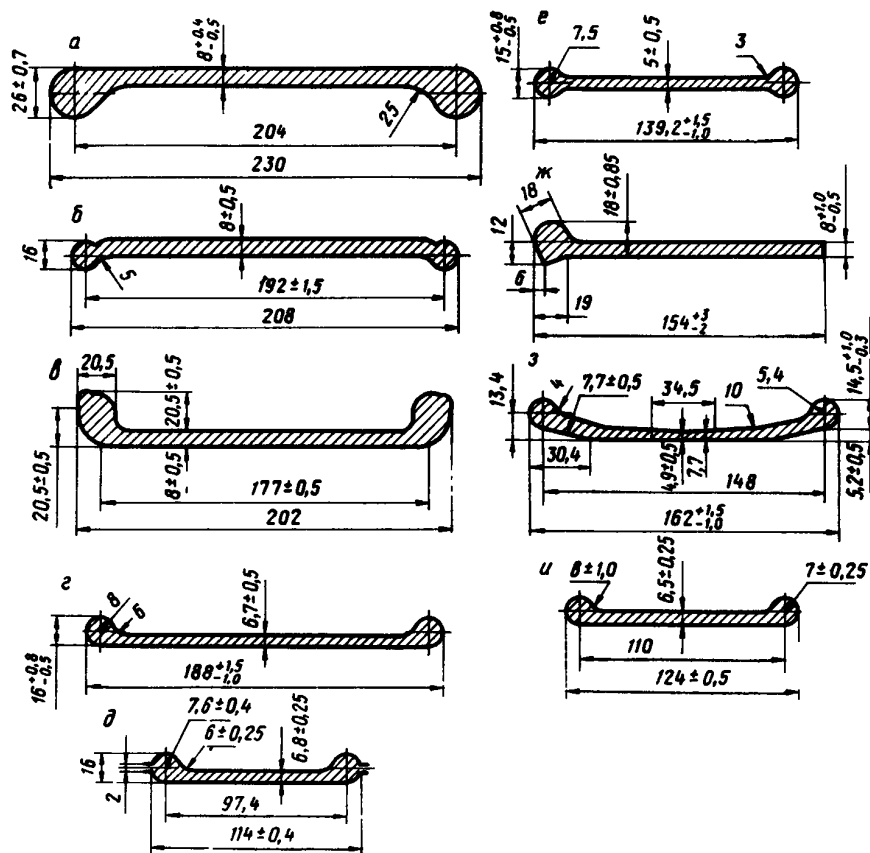


Рис. 68. Горячекатаные профили для дверных и кузовных петель автомобилей:  
а — ЗИЛ-130; б — ГАЗ-51; в — ГАЗ-51; г — "Москвич"; д — "Москвич-ИЖ";  
е — ВАЗ; ж — ГАЗ-24; з — ВАЗ; и — ЗАЗ

тате ухудшаются прочностные характеристики дверных петель и не обеспечивается необходимая геометричность салона автомобиля.

К горячекатаным профилям для дверных петель автомобилей предъявляют различные требования по точности размеров и качеству поверхности. На рис. 68, ж приведены размеры и допуски горячекатаного профиля первой категории из стали 35 для автомобиля ГАЗ-24. Массу профиля на 1 м длины при поставке по теоретической массе принимают 11,03 кг. Кроме первой категории прокатывают профиль высшей категории, который имеет те же самые размеры, но отличается более жесткими допускаемыми отклонениями для высоты шарнирной части ( $13 \pm 0,75$  мм) и высоты полки ( $8 \pm 0,6$  мм). При прокатке профиля в местах разреза валков в шарнирной части у торца полотна допускают лампас шириной до 3 мм и высотой до 1 мм. Кривизна прокатки не должна превышать 8 мм на 1 м длины. Поперечную кривизну замеряют по стреле прогиба и она не должна быть более 3 мм. Аналогичные или подобные требования предъявляют и к другим горячекатаным профилям для дверных петель автомобилей.

Холоднодеформированные профили для дверных петель автомобилей в отличие от горячекатаных обладают высокой точностью изготовления. Технические условия на холоднодеформированные профили предусматривают уменьшение поля допусков по толщине полотна в 2 раза, по ширине профиля — более чем в 3 раза и по высоте головок — более чем на 60 %. Однако стоимость холоднодеформированных профилей значительно выше горячекатаных и поэтому их применение должно иметь достаточное технологическое и экономическое обоснование.

Несмотря на существенное увеличение количества освоенных за последние годы новых профилей для дверных петель сортамент этих профилей все еще не полностью отвечает потребностям автомобильной промышленности. Вследствие этого коэффициент использования металла при изготовлении звеньев дверных петель на различных автомобильных заводах колеблется в широких пределах. Так, например, специальный профиль для дверных петель грузового автомобиля ГАЗ-51 (рис. 68, б) используют также в качестве исходной заготовки для изготовления звеньев петель с более узким полотном на других автозаводах. При этом коэффициент использования металла при изготовлении петель колеблется от 1,0 до 0,3.

Перерасход металла при изготовлении дверных петель обусловлен недостаточным количеством этих профилей в сортаменте прокатных станков. В настоящее время на прокатных станах нашей страны прокатывают более 10 профилей для дверных петель автомобилей. За рубежом соответствующий сортаментный ряд значительно шире.

#### КАЛИБРОВКА ВАЛКОВ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОКАТКИ

При горячей прокатке полосовых спецпрофилей с утолщениями по краям применяют [75] от 4 до 9 фасонных калибров. В первый фасонный калибр обычно задают полосу прямоугольного сечения. Фасонные калибры по своей конструкции аналогичны балочным калибрам закрытого типа с

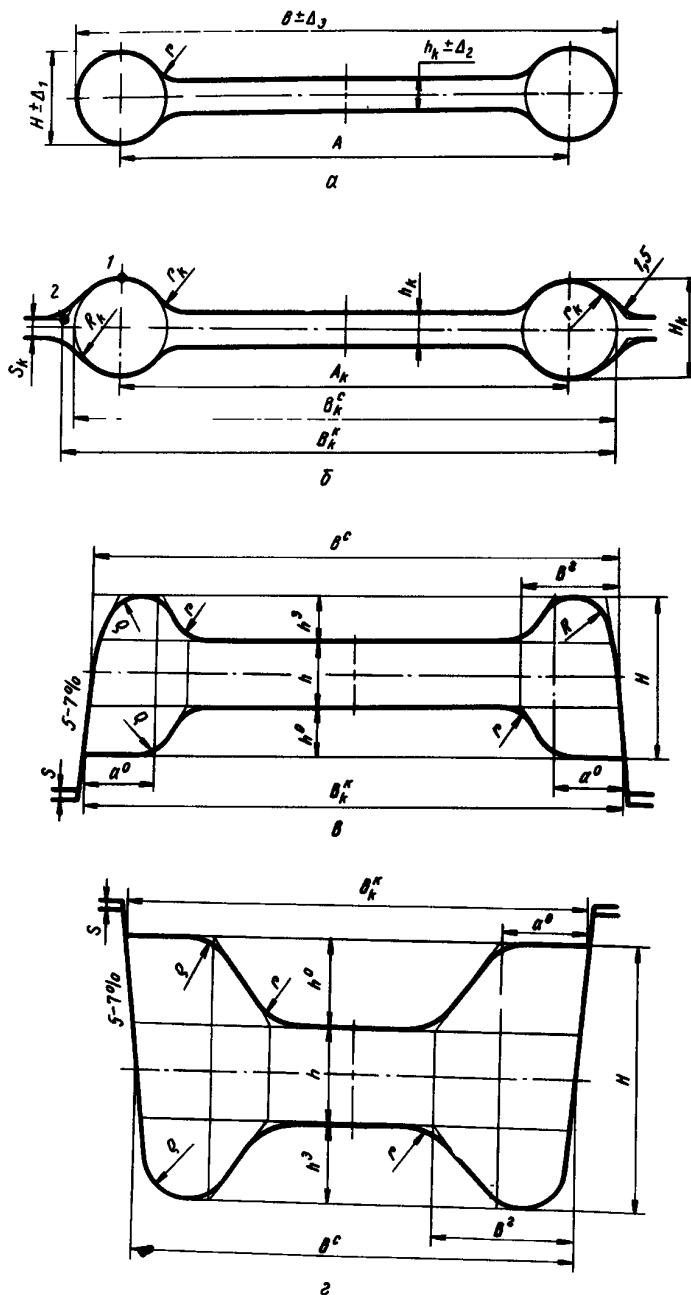


Рис. 69. Готовый профиль (а), чистовой (б), предчистовой (в) и черновой г калибры при прокатке профилей для дверных петель

чередованием положения разъемов (рис. 69, в и г), за исключением чистового калибра, который является открытым с разъемом посередине. Конструкция чистового калибра (рис. 69, б) обеспечивает получение головок профиля в заданном поле допусковых отклонений и без переполнения (лампы) в месте разъема.

Анализируя построение калибров для действующих калибровок, можно [75] все фасонные калибры разделить на три основных типа: чистовой (рис. 69, б), предчистовой (рис. 69, в) и черновые (рис. 69, г).

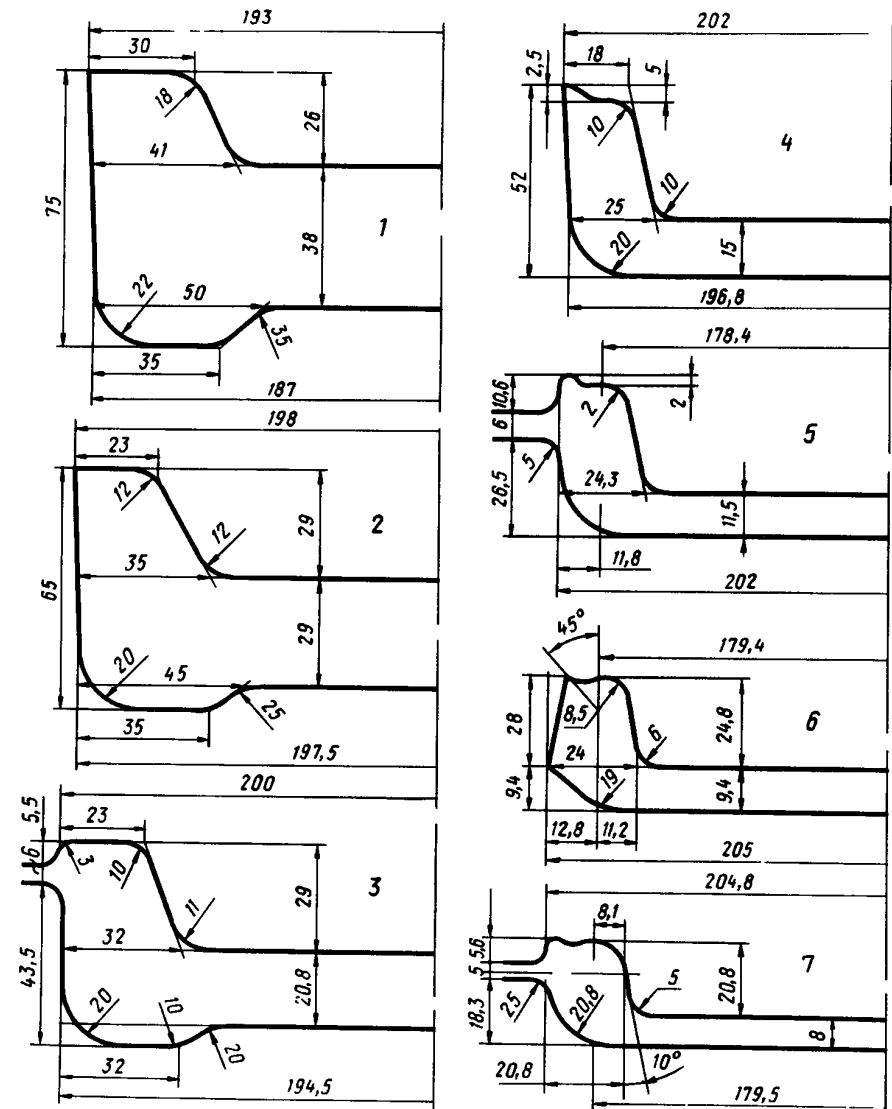


Рис. 70. Калибровка профиля для дверной петли автомобиля ГАЗ-51

Предчистовой калибр аналогичен по форме черновым и отличается наличием радиуса  $R$ , которым производится закругление закрытых частей головок для их более плавного формоизменения в чистовом пропуске. Иногда используют два калибра типа предчистового. В тех случаях, когда головки профиля для дверных петель имеют сложную форму, например, для автомобиля ГАЗ-51 (рис. 68, е), применяют для контроля высоты головок полузакрытые черновые калибры (рис. 70).

Ниже рассмотрена технология прокатки профилей для дверных петель автомобилей на примере прокатки профилей для подвижного (рис. 68, е) и неподвижного (рис. 68, з) звена петли автомобиля "Жигули" на линейном четырехклетевом стане 500.

Квадратные заготовки сечением  $180 \times 180$  мм и длиной 1100 – 1200 мм из стали 25 для прокатки профилей подвижного звена петли из стали

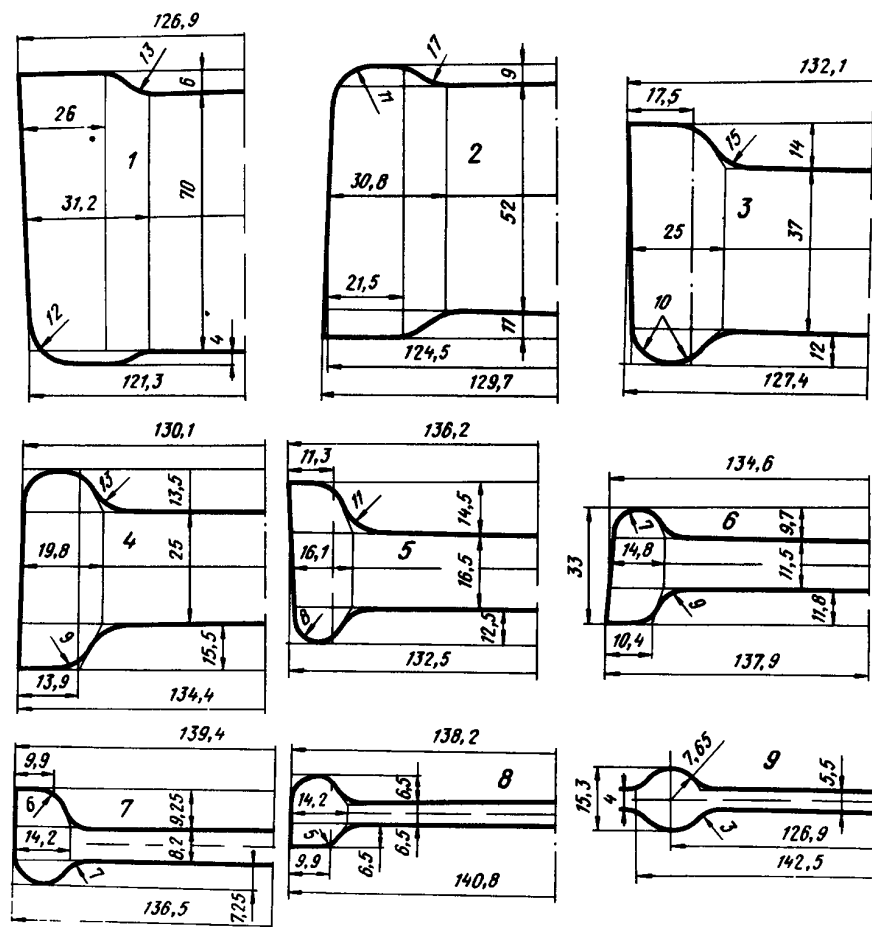


Рис. 71. Калибровка подквта для подвижного звена дверной петли автомобиля "Жигули"

12ХН для неподвижного звена на складе проходят осмотр и в случае необходимости подвергают зачистке. Температура нагрева заготовок  $1180 - 1200^{\circ}\text{C}$ . При прокатке подвижного звена дверной петли делают 5 проходов в обжимной клетке 640 до сечения полосы  $90 \times 120$  мм и 9 проходов (четыре — три — два) в фасонных калибрах чистовой линии. Размеры калибров для прокатки профиля подвижного звена петли приведены на рис. 71. При прокатке профиля неподвижного звена петли в обжимной клетке 640 производят 5 проходов до сечения полосы  $110 \times 150$  мм и в чистовой линии 9 проходов (четыре — три — два). Центрирование полос в чистовых калибрах улучшается за счет того, что расчетное уширение принимают больше фактического и в результате растяжения полосы в поперечном направлении происходит центрирование раската.

Температура полос после второго прохода на обжимной клетке 640 колеблется для профиля подвижного звена от  $1160$  до  $1180^{\circ}\text{C}$ , а конца прокатки от  $880$  до  $980^{\circ}\text{C}$ . Для профиля неподвижного звена температура изменяется соответственно от  $1170$  до  $1200^{\circ}\text{C}$  и от  $910$  до  $950^{\circ}\text{C}$ . Усилие прокатки для профиля неподвижного звена постепенно уменьшается по ходу прокатки от первого фасонного калибра (1,15 МН) к последнему (0,41 МН), что способствует повышению точности прокатки.

От стана полосы подают по рольгангам к маятниковым пилам и после резки на мерные длины они поступают на двухсекционный холодильник. Все профили для дверных петель, прокатываемые на стане, подвергают правке на семероликовой правильной машине консольного типа.

В автомобильной промышленности применяют также профили специального назначения, которые по своей форме аналогичны двойным

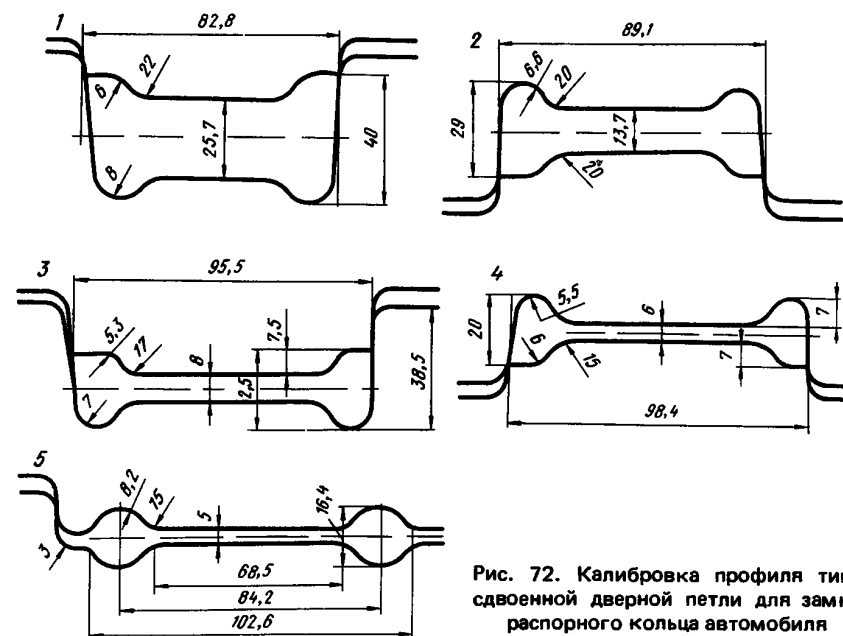


Рис. 72. Калибровка профиля типа двойной дверной петли для замка распорного кольца автомобиля

профилям для дверных и кузовных петель автомобилей. При проектировании их калибровок используют те же принципы, что и при прокатке профилей для дверных петель. Одним из таких профилей является профиль для замка распорного кольца автомобиля, калибровка которого не линейным четырехклетевом стане 450 выполнена по типовой схеме и приведена на рис. 72.

Сечение исходного подката принимают 44 X 74 мм. При прокатке опытной партии ширина профиля была меньше допускаемой, а головки выполняли в чистовом калибре не полностью [40]. Для устранения этих недостатков применили схему прокатки с использованием только калибров 1, 2, 4 и 5. При корректировке калибровки увеличили ширину предчистового калибра и высоту головок на 1–2 мм в предчистовом и в двух предыдущих калибрах. После этих изменений прокатанный профиль полностью соответствовал техническим условиям.

На этом же стане 450 освоен [ 2 ] профиль для замка распорного кольца колеса автомобиля. По первому варианту калибровки профиль прокатывали из подката сечением 70Х26 мм в двух фасонных калибрах с разъемом посередине. Контроль ширины осуществляли в предчистовом ребровом калибре. По второму варианту профиль прокатывали в формирующем калибре, затем в уменьшенном по ширине предчистовом калибре, и, минуя ребровой, окончательно формируется он в чистовом калибре.

Испытание обоих вариантов калибровки дало положительные результаты. Однако при прокатке по первому варианту при выходе из ребрового калибра происходило некоторое скручивание полосы, что приводило к затруднениям при прокатке в чистовом калибре. Поэтому промышленную прокатку в дальнейшем осуществляли по второму варианту.

При прокатке профилей для дверных и кузовных петель представляют интерес схемы калибровки с использованием калибров, обеспечивающих значительное вынужденное уширение. Такие схемы калибровки освоены [76] на стане 300 (см. рис. 15) при прокатке профилей дверных петель автомобилей "Запорожец" (см. рис. 68, к) и "Москвич"-ИЖ (см. рис. 68, д).

В связи с тем что для индукционных нагревателей стана 300 поперечное сечение заготовки ограничено конструктивными особенностями нагревателей, то для прокатки профиля для дверных петель автомобиля "Запорожец" пришлось использовать исходную заготовку с максимально возможным диаметром 70 мм [ 76]. Так как ширина профиля составляет 123,2 мм, то при разработке калибровки применили черновые калибры, обеспечивающие значительное вынужденное уширение (рис. 73). Основной прирост ширины полосы происходит в калибре 1 разрезного типа, в котором заготовка круглого сечения как бы разрезается на две половины. Форма полосы после клетки 1 аналогична форме развернутых угловых калибров. В последующих калибрах ширина полосы увеличивается вследствие отгиба верхней и левой частей полосы в горизонтальное положение. Для обеспечения равномерного заполнения калибр 1 выполнен самоцентрирующимся: в момент захвата заготовка по периметру касается стенок калибра только в трех точках.

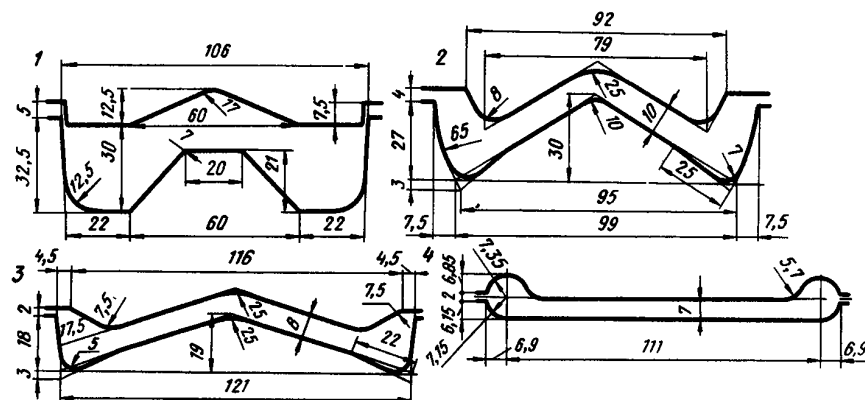


Рис. 73. Калибровка горячекатаного подката для дверных петель автомобиля "Запорожец"

Калибры клеток I, II и III закрытого типа. При этом разъемы этих калибров выполнены в одну сторону. Такое расположение разъемов калибров вызвано формой головок и условиями их формоизменения. Чистовой калибр открытого типа с разъемом посередине головок.

Особенностью калибровки (рис. 73) и технологии прокатки профилей для дверных петель автомобиля "Запорожец" является то, что для более точного выполнения головок профиля как горячую, так и холодную прокатку производят с лампасами. Допуск на величину лампасов при горячей прокатке составляет  $(+4,0)$  и  $(-0,2)$  мм. После холодной прокатки лампасы удаляют на специальной установке. Общий коэффициент вытяжки при прокатке составляет 3,6, средний коэффициент вытяжки 1,38.

За последние годы в прокатном производстве наметилась тенденция использования высокопроизводительных полунепрерывных и непрерывных станов для прокатки фасонных профилей сложной формы. При этом повышается качество и точность размеров и обеспечиваются заданные механические свойства при высокой степени механизации и автоматизации процесса прокатки.

С целью определения возможности прокатки профилей для дверных петель на современных станах была опробована прокатка и калибровка этих профилей на полупрерывном четырнадцатиклетовом стане 350.

При разработке схем прокатки и калибровки существующий сортмент профилей для дверных петель в зависимости от их ширины разделен на четыре группы: а) шириной более 200 мм; б) от 160 до 200 мм; в) от 130 до 160 мм и г) шириной менее 130 мм.

Для расчета калибровок и определения производительности для каждой группы принят характерный профиль, так называемый профиле-представитель группы. Так как в проекте стана 350 не предусмотрена прокатка профилей шириной более 200 мм, то расчет первой группы не производили.

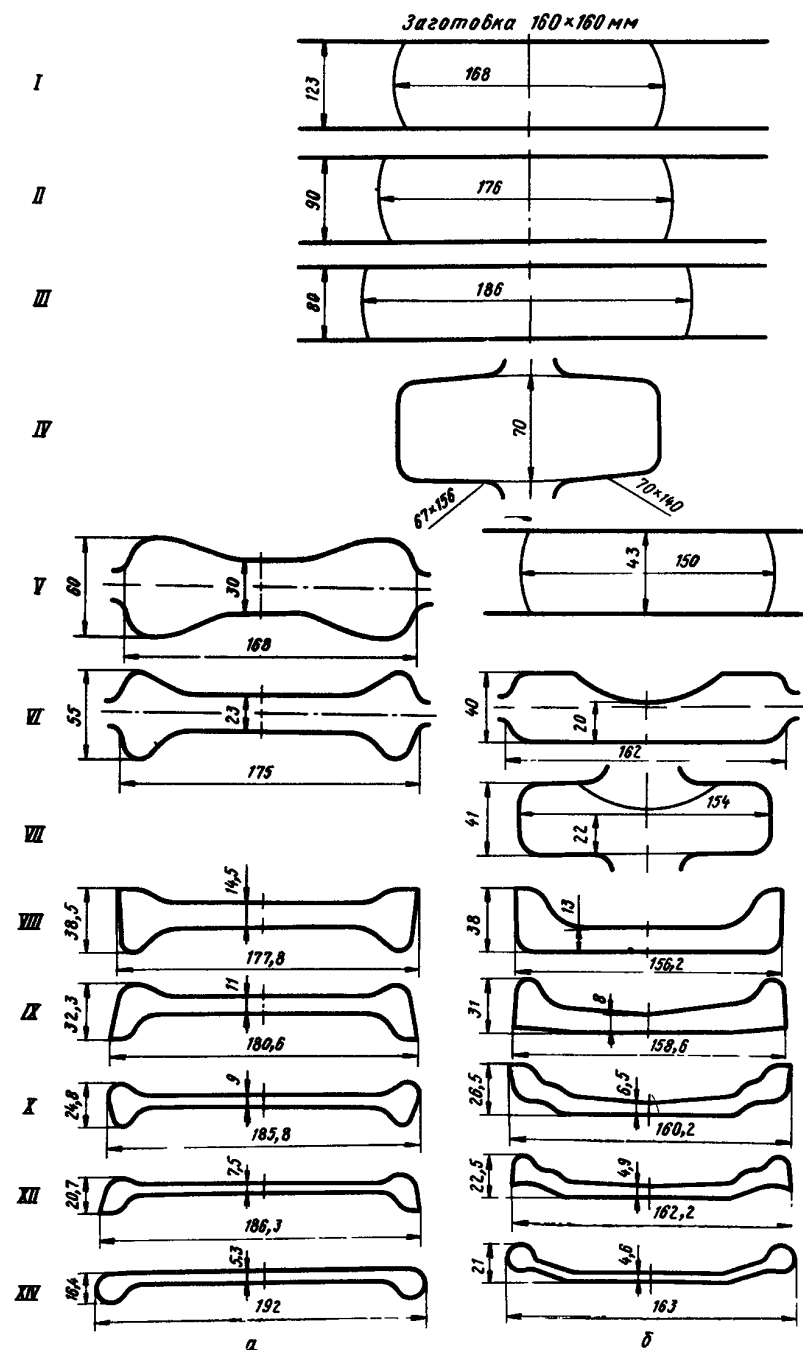
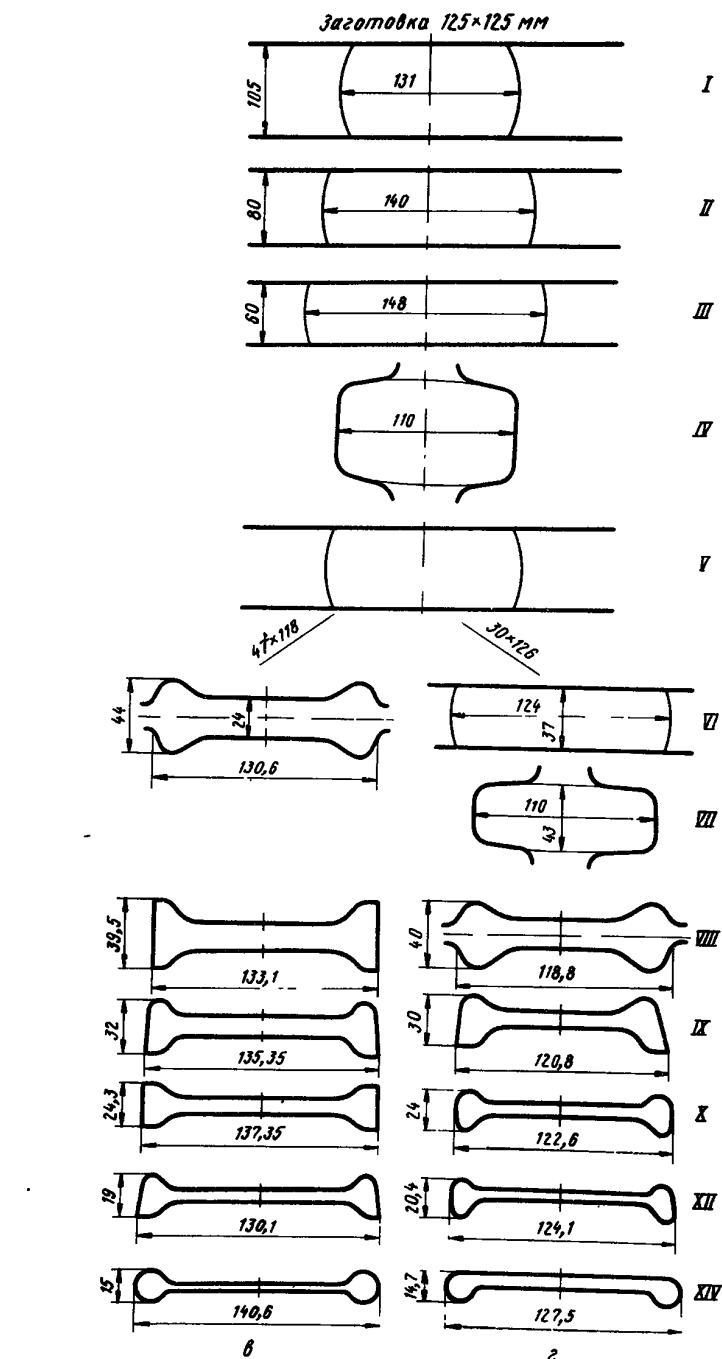


Рис. 74. Схема прокатки горячекатаных подкатов для дверных петель автомобилей



"Москвич" (а), "Жигули" (б и в) и "Запорожец" (г)

Разработаны калибровки профилей для дверных петель автомобилей "Москвич" (см. рис. 68, *г*), "Жигули" (см. рис. 68, *е* и *з*) и "Запорожец" (см. рис. 68, *и*).

Расчет калибровки профилепредставителей каждой группы выполнен по методике, основанной на определении ширины калибров и головок по средней линии полотна с учетом бокового обжатия головок. Общая схема прокатки профилей для дверных петель приведена на рис. 74.

Так, например, прокатку профиля для автомобиля "Москвич" предусмотрено вести из квадратной заготовки сечением 160×160 мм и длиной 4,0 м. Формирование профиля осуществляется в семи фасонных калибрах. Расчетная производительность стана составляет 248 т/ч.

Анализ энергосиловых параметров подтверждает возможность прокатки профилей для дверных петель автомобилей на полунепрерывном стане 350.

#### ПРОИЗВОДСТВО ПРОФИЛЕЙ ДВЕРНЫХ ПЕТЕЛЬ ВЫСОКОЙ ТОЧНОСТИ

Повышенные требования, предъявляемые многими заказчиками, к точности изготовления профилей для дверных петель, чистоте поверхности и механическим свойствам, необходимы для устойчивой работы полуавтоматических линий по переработке этих профилей, улучшения качества изделий, повышения производительности процесса изготовления дверных автомобильных петель, экономии металла и улучшения условий работы обслуживающего персонала.

Прогрессивная технология изготовления дверных петель из холоднодеформированных профилей высокой точности освоена [77] на Волжском автозаводе. Для изготовления дверных петель используют два различных профиля. Технология включает операции поперечной рубки профилей на заготовки, изготовление паза под шарнир, продольную рубку заготовок, сверление отверстий под ось шарнира, галтовку, промывку и сборку петель. Поперечная рубка на мерные заготовки производится на высокопроизводительном автоматическом отрезном станке, в состав которого входят два симметрично расположенных загрузочных стола, два парных рольганга, предназначенных для подачи в автоматическом режиме полос к кривошипному прессу с усилием прессования 0,12 МН, оборудованному пневмоприжимом, пневмоупором и двумя наклонными уборочными транспортерами.

Сборку петель осуществляют на автоматических станках и включают операции по установке и центровке отверстий звеньев на центрирующем штоке, смазке, запрессовке пальца, чеканной закреплке и выдаче готовых петель. Все операции выполняются автоматически.

Для производства профилей высокой точности для шарнирных звеньев дверных петель известны следующие основные технологические схемы:

1. Горячая прокатка фасонного подката с последующим волочением или холодной прокаткой.
2. Прессование фасонного подката с последующим волочением или холодной прокаткой.

3. Горячая прокатка фасонного подката — холодная прокатка — волочение.

В приведенных технологических схемах для завершающих операций холодной прокатки или волочения используют горячекатаные или прессованные фасонные подкаты, форма которых аналогична форме готовых изделий. Горячекатаный подкат применяют для выполнения крупнотоннажных партий. В тех случаях, когда профили производят в малых количествах или их прокатка приводит к значительным трудностям, а иногда и просто невозможна, то более целесообразно использовать горячее прессование фасонного подката.

Итальянская фирма Fiat производит профили высокой точности для дверных петель волочением горячекатаных фасонных подкатов, имеющих допускаемые отклонения ( $\pm 0,2$  мм) на геометрические размеры [78]. Этот процесс волочения хорошо изучен и освещен в литературе. Однако производительность, дополнительные потери металла, достаточно высокие удельные капитальные затраты, низкая стойкость и сложность изготовления волок (особенно сложной формы), а также высокая себестоимость готовой продукции обуславливает постоянный поиск новых способов производства профилей высокой точности.

Одной из самых трудоемких операций при волочении стальных фасонных профилей является острение (утонение) переднего конца полосы для задачи ее в волоку. Наиболее распространенным методом острения является обжатие конца полосы в профилированных эксцентриковых валках (вальцах). В то же время острение сложных профилей таким способом не всегда осуществимо из-за невозможности выполнения соответствующей калибровки валков [79].

На многих металлургических предприятиях горячекатаный подкат для дверных петель получают с перепопнениями (лампасами) головок профиля в месте разъема калибров, которые затем удаляют протяжными машинами или шлифовальным кругом.

В СССР накоплен большой опыт производства профилей повышенной точности для звеньев дверных петель по схемам: горячая прокатка фасонных подкатов — холодная прокатка готового профиля и горячая прокатка фасонного подката — волочение готового профиля. Практика освоения этих профилей на сталепрокатных заводах показала, что наиболее простым и экономичным способом является холодная прокатка готового профиля из горячекатаного подката с перепопнением чистового калибра при холодной прокатке и с последующим удалением лампасов на специальной установке.

Технология холодной прокатки профилей для дверных петель с использованием четырехвалковых калибров не нашла применения в промышленном производстве вследствие образования лампасов или незаполнения головок в чистовых калибрах из-за недостаточной точности размеров горячекатаного фасонного подката.

Использование холодной прокатки имеет ряд существенных преимуществ перед волочением, так как упрощается технологический процесс (сокращается до 6 операций) и увеличивается производительность в

8 — 10 раз. При переходе с волочения на холодную прокатку из горячекатаного подката при производстве спецпрофилей высокой точности для звеньев дверных петель автомобилей "Жигули" экономический эффект составил более 400 тыс. руб. в год [80]. Холодную прокатку профилей сечением более 1000 мм<sup>2</sup> осуществляют обычно из горячекатаного подката за один — два пропуска с единичным обжатием 3 — 15 % при скорости прокатки  $\leq 1$  м/с.

Холодную прокатку профилей для подвижного и неподвижного звена петли автомобиля "Жигули" (рис. 68, е и з) и "Москвич" (рис. 68, г) осуществляют на одноклетевом двухвалковом стане 400 с бочкой валков длиной 350 мм. Стан работает на подшипниках качения. Привод рабочих валков — от электродвигателя постоянного тока мощностью 160 кВт. Скорость прокатки 0,25 — 0,5 м/с. Максимальное усилие прокатки 0,75 МН.

Из-за сложности поверхностной закалки профилированной бочки валки для холодной прокатки на стане 400 изготавливают сборными. Для бандажей валков используют специальные стали. Толщина стенок бандажей составляет 40 — 60 мм. Ручьи нарезают с припуском 0,2 — 0,3 мм. Кроме того, применяют также конусные соединения бандажа с валом.

После сборки валков их калибры обрабатывают на круглошлифовальном станке мелкозернистым абразивным кругом, рабочая поверхность которого соответствует профилю ручья калибра. Для заправки круга изготавливают специальную оправку. Съемный рабочий элемент оправки — диск диаметром 150 — 200 мм из термообработанной инструментальной стали фиксируют на валу шпонкой. Ширину диска выбирают в зависимости от ширины калибра или толщины абразивного круга. На внешней кольцевой поверхности диска нарезают контур обрабатываемого ручья, по которому заправляется абразивный круг. Внешнюю кольцевую поверхность дисков рассекают поперечными прямоугольными пазами шириной 4 — 6 мм на глубину 20 — 25 мм с шагом 10 — 15 мм. Это необходимо для образования острых режущих кромок, на образовавшихся гребнях. Контур ручья на рабочей поверхности оправок нарезают в центрах оптического профилешлифовального станка при увеличении 25 или 30. Обрабатываемая поверхность проецируется на экран станка, где на кальке при том же увеличении выполнен необходимый контур. Поверхность обрабатывают до тех пор, пока проекция контура ручья полностью не совместится с контуром чертежа. Аналогично изготавливают шаблоны для контроля нарезки калибров. Перед окончательной доводкой ручьев валков контролируют геометрию рабочей поверхности оправки и абразивного круга. Точность шлифования калибров составляет  $\pm 0,01$  мм.

Производство холоднокатаных готовых профилей для звеньев дверных петель осуществляют на стане 400 следующим образом.

Исходные горячекатаные подкаты длиной 4 — 6 м проходят травление в 5 — 20 %-ном растворе серной кислоты при 80°C в течение 10 мин. Затем, после десятиминутной промывки травленых заготовок в горячей

и холодной воде, заготовки поступают на 5 — 8 мин в ванны нейтрализации с содовым раствором концентрацией 20 г/л и температурой 60—70°C.

Прокатку готовых профилей на стане 400 осуществляют за один проход. Особенностью технологии является прокатка этих профилей с лампасами шириной 1 — 4 мм и толщиной до 2 мм на внешней стороне головок. В качестве смазки и для охлаждения калибров на валки подают эмульсию.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ПРИ ПРОКАТКЕ ПРОФИЛЕЙ С УТОЛЩЕНИЯМИ ПО КРАЯМ

Прокатку профилей с утолщениями по краям в соответствии с наиболее распространенной типовой схемой прокатки (см. рис. 72) производят в калибрах двутавровой формы при небольшой высоте фланцев.

В процессе проектирования калибровки особенно важное значение имеет определение размеров черновых калибров балочной формы, в которых происходит первоначальное формирование профиля.

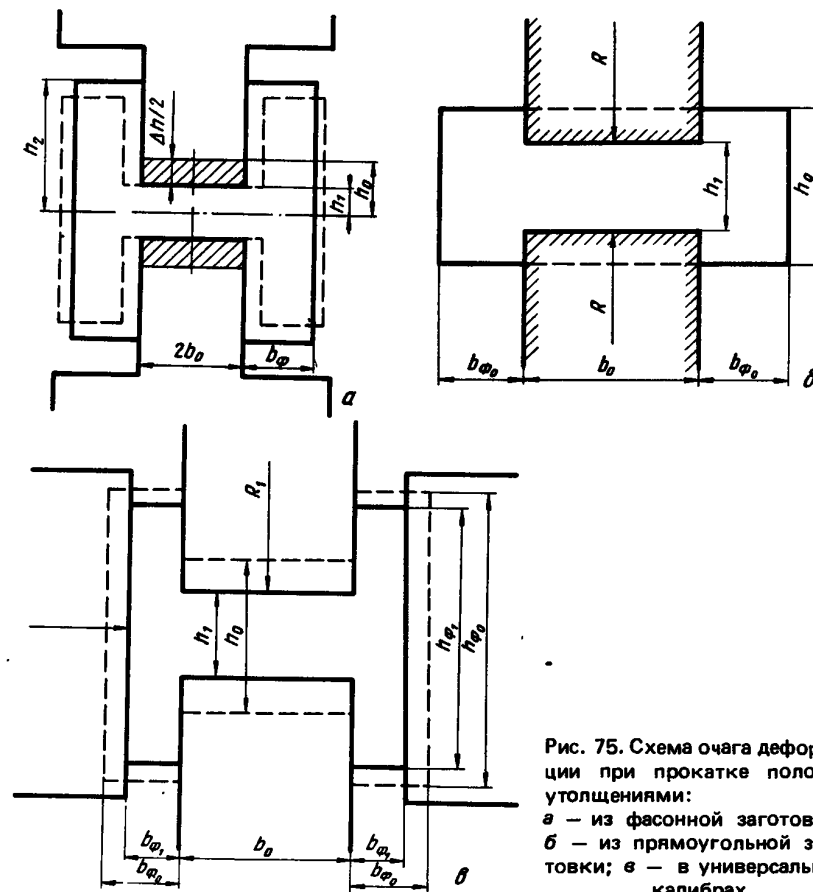


Рис. 75. Схема очага деформации при прокатке полос с утолщениями:  
а — из фасонной заготовки;  
б — из прямоугольной заготовки; в — в универсальных калибрах

Прежде чем производить расчет калибров с заданной степенью уширения контрольным обжатием по высоте и ширине головок профиля, необходимо вначале определить коэффициент вытяжки  $\lambda$  и коэффициент утяжки головок при свободном уширении и отсутствии обжатия головок.

При разработке инженерных моделей формоизменения целесообразно использовать [81, 82] закон наименьшего сопротивления, предположения о допустимости простого осреднения действующих напряжений и существенные ограничения неравномерности деформаций. Для случая прокатки заготовки с утолщениями заготовки по краям при обжатии только шейки (рис. 75, а) полагаем, что в продольном направлении очаг деформации ограничен плоскостями, перпендикулярными оси прокатки. Формоизменение во внеконтактной зоне на входе полосы в валки заменяется срезом в плоскости входа, а деформациями на выходе полосы из валков пренебрегаем.

Приближенная формула для определения величины работы  $A$ , затраченной на удлинение полосы, имеет вид

$$A = \sigma_l V \ln \lambda, \quad (36)$$

где  $\sigma_l$  — удельное внутреннее сопротивление в направлении прокатки, Па;  $V$  — объем прокатываемой полосы, мм<sup>3</sup>;  $\lambda$  — коэффициент вытяжки.

Так как в рассматриваемом калибре (рис. 75, а) обжимается только шейка, то удлинение всей полосы происходит за счет энергии, численно равной работе по удлинению шейки полосы. В соответствии с принятым предположением величину работы  $A_{ш}$ , необходимой для удлинения шейки, как бы условно прокатанной в валках на гладкой бочке независимо от фланцев, приравниваем работе  $A$  из уравнения (36), т.е.

$$A = A_{ш} \quad (37)$$

Аналогично выражению (36) имеем

$$A_{ш} = \sigma_{ш} V_{ш} \ln \lambda_{ш}, \quad (38)$$

где  $\sigma_{ш}$  — соответствующее удельное сопротивление, Па;  $V$  — объем обжимаемой части (шейки) всей полосы, мм<sup>3</sup>;  $\lambda_{ш}$  — условный коэффициент вытяжки шейки, прокатываемой на гладкой бочке.

Считая, что  $\sigma_l = \sigma_{ш}$ , а  $V = S_0 l_0$  и  $V_{ш} = S_{ш} l_0$ , и учитывая уравнения (36) и (38), находим из соотношения (30)

$$\ln \lambda = (S_{ш} / S_0) \ln \lambda_{ш}, \quad (39)$$

где  $l_0$  — исходная длина полосы, мм;  $S_0$  — начальная площадь поперечного сечения полосы, мм<sup>2</sup>;  $S_{ш} = h_{ср} b$  — усредненная площадь поперечного сечения обжимаемой части (шейки), мм<sup>2</sup>;  $h_{ср} = 1/2 (h_0 + h_1)$  — средняя высота шейки, мм;  $b = 2 b_0$  — ширина гребней валков, мм.

Используя формулу для определения коэффициента вытяжки  $\lambda_{ш}$  при прокатке полосы прямоугольного сечения на гладкой бочке, окончательно получим из формулы (39)

$$\ln \lambda = \frac{h_{ср} b}{S_0} \left( 1 + \frac{2 f l (C_1 / h_{ср})}{1 + 2 f (b / h_{ср}) + h_0 b_0 / \sqrt{3} h_{ср} l} \right)^{-1} \ln h_0 / h_1, \quad (40)$$

где  $C_1 = 1 - 2(\gamma / \alpha) - [h_1 / l + (D / l)(1 - \cos \gamma)] \sqrt{R / h_1} [\arctg X \times (\sqrt{(R / h_1) \alpha}) - 2 \arctg (\sqrt{(R / h_1) \gamma})]$ ;  $\gamma$  — угол критического сечения, рад;  $\alpha$  — угол захвата, рад;  $f$  — коэффициент трения;  $l$  — длина очага деформации.

В предложенной модели в отличие от приведенной в работе [82] учтен ряд дополнительных факторов, существенно влияющих на величины коэффициентов вытяжки и уширения. Эти факторы определяются наличием двух зон скольжения на контактной поверхности, влиянием жестких концов (срез на входе в очаг деформации) и учетом внутренних сопротивлений.

Для проверки точности расчетов по формуле (40) проводили сравнение опытных и расчетных значений коэффициента вытяжки  $\lambda$ . Экспериментальные данные получены при прокатке на полупромышленном стане 300 образцов из стали СтЗкп с утолщениями по краям при обжатии только шейки гребнями валков диаметром 285 мм и свободным уширением, температура прокатки 950 — 1050°C.

Средняя величина ошибки  $\delta = (\lambda_{расч} - \lambda_{экс}) / (\lambda_{экс} - 1)$  составила 0,5685, а величина среднего квадратичного отклонения 0,2075.

Сравнение опытных и расчетных данных позволяет сделать вывод о том, что по полученным оценкам  $\lambda$  можно с удовлетворительной точностью произвести расчет формоизменения.

При прокатке профилей для дверных петель автомобилей по типовой схеме (см. рис. 72) важное значение также имеет выбор высоты прямоугольной полосы, задаваемой в первый фасонный калибр.

Для определения формоизменения в первом фасонном калибре был проведен на полупромышленном стане 300 планируемый эксперимент по прокатке прямоугольной заготовки с обжатием только ее средней части (см. рис. 75, б). Так как при планировании эксперимента выбор относительных параметров, имеющих физический смысл (например, отношение площадей обжимаемых и необжимаемых участков), значительно сужает интервалы их изменения, то в качестве параметров процесса были приняты отношения геометрических размеров очага деформации и заготовки к толщине обжимаемой средней части после прокатки  $m_1 = h_0 / h_1$ ,  $m_2 = b_0 / h_1$ ,  $m_3 = b_{ф_0} / h_1$ ,  $m_4 = R / h_1$ .

Для исследования зависимости коэффициента вытяжки  $\lambda$  и коэффициента уширения  $b_1 / b_0$  от параметров  $m_1, m_2, m_3$  и  $m_4$  использовали метод полного факторного эксперимента [37, 83]. Материал образцов — сталь СтЗкп; температура прокатки 1100 — 1150°C. Диаметры нижнего и верхнего валков по шейке составляет 300 мм. Параметры  $m_1, m_2, m_3$  и  $m_4$  имели следующие интервалы изменения  $m_1 = 1,3 \div 2,0$ ;  $m_2 = 1,0 \div 3,5$ ;  $m_3 = 0,5 \div 1,25$ ;  $m_4 = 7,5 \div 9,4$ .

В результате обработки результатов планируемого эксперимента получена формула для определения коэффициента вытяжки:

$$\lambda = 3,069 - 1,289 m_1 - 2,689 m_2 - 1,041 m_3 - 0,3486 m_4 + 2,019 m_1 m_2 + 0,998 m_1 m_3 + 0,2455 m_1 m_4 + 1,928 m_2 m_3 +$$

$$+ 0,3446 m_2 m_4 - 0,2023 m_3 m_4 - 0,1138 m_3^2 - 1,447 m_1 m_2 m_3 - \\ - 0,2496 m_1 m_2 m_4 - 0,1556 m_1 m_3 m_4 - 0,2559 m_2 m_3 m_4 + \\ + 0,188 m_1 m_2 m_3 m_4 - 0,1633 m_1^2.$$

Утяжку боковых утолщений по высоте определяют в соответствии с работой [35]  $h_0/h_{\phi_1} = b_{\phi_0}/b_{\phi_1} = \sqrt{\lambda}$ .

На стане 300 для выявления возможности использования четырехвалковых калибров при прокатке профилей с утолщениями на краях было также проведено комплексно экспериментальное исследование. Для проведения экспериментов была разработана конструкция специальной кассеты с вертикальными роликами.

Горизонтальные валки бандажированные; диаметр бандажей 300 мм; материал — сталь 40X. Шлифовка бандажей производилась с точностью  $\pm 0,05$  мм. Образцы прямоугольного сечения из стали СтЗкп. Нагрев производили в камерной электропечи до  $1000 - 1050^\circ\text{C}$ . После прокатки в универсальных калибрах образцы разрезали пополам и затем повторно прокатывали с различными режимами обжатия в горизонтальных и вертикальных валках. Всего прокатано пять серий контрольных образцов. Параметры очага деформации (см. рис. 75, в) следующие:  $m_1 = h_0/h_1$ ,  $m_2 = b_{\phi_0}/b_{\phi_1}$ ,  $m_3 = b_0/h_0$ ,  $m_4 = 2b_{\phi_0}h_{\phi_0}/b_0h_0$ ,  $m_5 = b_0/\sqrt{R_1(h_0 - h_1)}$ ,  $m_6 = h_{\phi_0}/\sqrt{R_2(b_{\phi_0} - b_{\phi_1})}$ .

Аппроксимация экспериментальных данных произведена с использованием множественной линейной корреляции на ЭВМ БЭСМ-4М. Формула для коэффициента вытяжки:

$$\lambda = 0,013 + \exp(1,491 m_1 - 0,333 m_1^2 - 1,055) + 0,046 m_3 - \\ - 0,003 m_3^2 + (35,676 - 50,812 m_2 + 9,932 m_2^2)^{-1} + 0,007 m_5 - \\ - 0,002 m_5^2 - 0,350 m_6 + 0,268 m_6^2 - 0,064 m_4 - 0,038 m_4^2$$

справедлива в следующих интервалах изменения параметров процесса прокатки:  $m_1 = 1,10 \div 2,38$ ;  $m_2 = 1,10 \div 4,35$ ;  $m_3 = 4,10 \div 16,2$ ;  $m_4 = 0,24 \div 1,20$ ;  $m_5 = 1,60 \div 8,2$ ;  $m_6 = 0,3 \div 1,0$ .

Продолжением проведенных исследований являлось испытание калибровок профилей с утолщениями на краях за три прохода по схеме: четырехвалковый калибр — четырехвалковый калибр — чистовой двухвалковый калибр. Рабочие бандаж горизонтальных валков диаметром 320 мм и вертикальные валки изготавливали из стали 40X.

По принятой схеме были разработаны калибровки двух профилей для дверных петель шириной 70 и 110 мм. Диаметры вертикальных роликов для профилей шириной 70 и 110 мм в первом калибре составляли соответственно 108,8 и 118 мм и во втором 114 и 123 мм. Ручьи вертикальных валков были выполнены радиусом 16,75 мм в первом и 16,2 мм во втором калибре.

Исходные образцы были прямоугольного сечения шириной 79–109 мм и толщиной 18 — 22 мм; длина образцов 250 — 260 мм; материал — сталь СтЗкп; температура прокатки  $1000 - 1050^\circ\text{C}$ . Обжатие вертикаль-

ными роликами в первом калибре изменялось от 2 до 31 мм; во втором калибре это обжатие было постоянным (10 или 5 мм) для каждого профиля.

Проведенные исследования подтверждают возможность успешного использования четырехвалковых калибров для прокатки профилей с круглыми утолщениями на краях. Разработанные калибровки с двумя четырехвалковыми калибрами позволяют получить заданные профили за три прохода. Наиболее оптимальными с точки зрения заполнения калибров являются прямоугольные заготовки сечением  $22 \times 85$  и  $20 \times 129$  мм для профилей шириной соответственно 70 и 110 мм.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ПРОКАТКИ

При производстве дверных петель по схеме: горячая прокатка — холодная прокатка точность размеров горячекатаных подкатов оказывает существенное влияние на точность и экономичность процесса холодной прокатки.

Исследования точности были выполнены на линейном четырехклетевом стане 500 и стане 400 при прокатке профиля дверной петли для автомобиля "Москвич" (см. рис. 68, з).

На стане 500 в процессе исследований была поставлена задача по оценке величины колебаний размеров профиля в течение длительного периода работы стана и возможности прокатки в соответствии с техническими условиями. Фактические размеры профиля определяли измерением проб через 15 — 20 мин работы при выполнении заказа массой 500 — 600 т. Технически возможную точность прокатки при данной технологии устанавливали отбором контрольных полос через каждые 1,5 — 2,0 ч при прокатке трех контрольных промышленных партий по 500 — 600 т каждая.

На основании измерения проб и контрольных раскатов были построены графики распределения замеров основных параметров поперечного сечения профиля. Установлено, что толщина полотна профиля колеблется от 5,88 до 7,47 мм, высота головок и ширина профиля при прокатке контрольных партий находится в пределах соответственно 15,61 — 17,37 и 186,25 — 189,25 мм, а разновысотность головок составляет 0 — 0,44 мм.

Исследования точности были продолжены при холодной прокатке горячекатаного фасонного подката на одноклетевом стане 400. При этом мерные штанги из контрольных раскатов горячекатаного подката после обмеров сечений по длине полос были замаркированы. После холодной прокатки аналогичные измерения проводили на готовом профиле в тех же самых местах.

Из анализа результатов измерений контрольных штанг готового профиля следует, что толщина полотна колеблется от 5,54 до 6,48 мм; высота головок находится в пределах 14,53 — 15,5 мм, а поперечная разнотолщинность полотна на штангах составляет 0,01 — 0,29 мм.

Разнотолщинность полотна готового профиля по длине полосы колеблется при контрольных прокатках от 0,01 до 0,20 мм. Основная масса полос (около 85 %) имеет продольную разнотолщинность в пределах 0,03 — 0,09 мм. Разновысотность головок в одном сечении полос гото-

вого профиля колеблется от 0,03 до 0,31 мм. Основная масса полос (70 – 85 %) имеет разновысотность головок в пределах 0,03 – 0,11 мм.

При проведении статистического анализа получена обобщенная зависимость между среднеквадратичными отклонениями толщины полотна готового профиля  $\Delta$  и горячекатаного подката  $\Delta^* \Delta = 0,335 - 0,325 \exp(-2,4 \Delta^*)$ .

Обработка результатов измерений произведена по методу наименьших квадратов.

Для этого чтобы 95 % всех замеров толщины полотна не выходили из поля допуска  $\pm 0,24$  мм толщина полотна горячекатаного подката не должна иметь отклонения, выходящие из пределов  $\pm 0,51$  мм.

В то же время величина колебаний толщины полотна горячекатаного подката составляет 1,06 – 1,25 мм. Таким образом, точность горячекатаного подката по толщине полотна не соответствует предельно допустимой. Аналогичная картина наблюдается и для других геометрических размеров. Причина этого заключается в недостаточной жесткости рабочих клетей и использовании текстолитовых подшипников для рабочих валков стана 500. Из-за быстрого износа текстолитовых подшипников при прокатке профилей дверных петель регулировку зазора в чистовом и предчистовом калибрах производят через каждые 10 – 20 мин.

Точность горячей прокатки значительно повышается при использовании жестких клетей и подшипников качения или жидкостного трения. Исследование точности при опытной прокатке горячекатаного профиля для дверной петли автомобиля "Запорожец" на непрерывном стане 300 показало, что интервал отклонений по толщине полотна и высоте головок составляет 0,32 мм. Таким образом, можно сделать вывод, что опытная партия профиля прокатана с полем отклонений  $\pm 0,16$  мм. При производстве массовых промышленных партий поле допуска, естественно, должно быть установлено несколько больше вследствие возможных отклонений от заданного режима технологии прокатки.

#### МЕТОДИКА КАЛИБРОВКИ ПОЛОСОВЫХ ПРОФИЛЕЙ С КРУГЛЫМИ УТОЛЩЕНИЯМИ ПО КРАЯМ

Типовая схема прокатки профилей с круглыми утолщениями по краям (головками) приведена на рис. 72, а типы чистового, предчистового и черновых калибров – на рис. 69. Методика расчета калибровки по типовой схеме основана [75] на обобщении режимов прокатки в производственных условиях.

Интервалы изменения по проходам коэффициентов обжатия полотна  $1/\eta^p$  (рис. 76, а) и головок  $1/\eta^r$  (рис. 76, б) получены на основании данных более сорока различных отечественных и зарубежных заводских калибровок. Диапазон применяемых коэффициентов на рис. 76 показан штриховкой. Усредненные значения коэффициентов выделены жирными линиями. Нумерация калибров принята по ходу прокатки.

К особенностям применяемых на практике калибровок профилей для дверных петель следует отнести повышенную по сравнению с полотном деформацию головок в чистовом и предчистовом калибрах. Такое

соотношение обжатий вызвано необходимостью надежного формирования головок и устранения их возможной утяжки. Но так как толщина полотна готового профиля значительно меньше высоты головок, то в черновых калибрах, естественно, значительно более интенсивная деформация предусматривается для полотна.

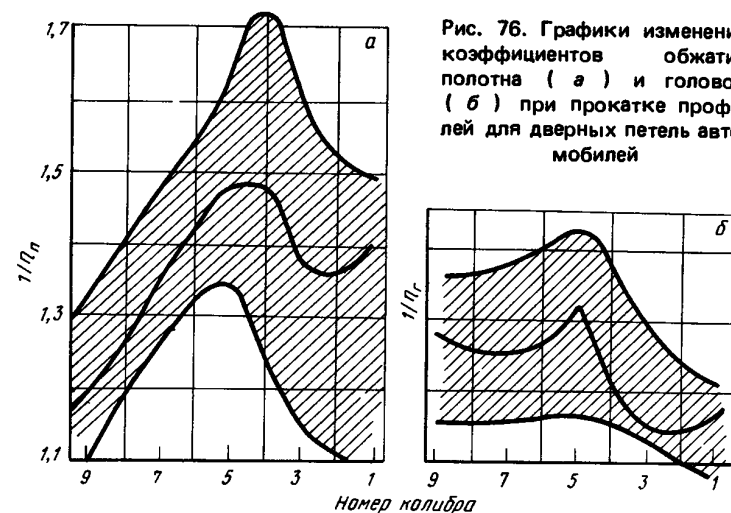


Рис. 76. Графики изменения коэффициентов обжатия полотна (а) и головок (б) при прокатке профилей для дверных петель автомобилей

В основу методики расчета калибровки положено [75] определение ширины калибров и головок по средней линии полотна с учетом бокового обжатия головок. Расчет калибровки ведут в следующей последовательности.

1. Определяют  $H_k, h_k, B_k^c$  (см. рис. 69, б) готового профиля в горячем состоянии с учетом коэффициента термического расширения  $\alpha$ , (равного 1,010 – 1,015) и прокатки на минус (50 % минусового допуска  $\Delta$ ) на соответствующий размер  $H_k = (H - 0,5 \Delta_1) \alpha$ ,  $h_k = (h - 0,5 \Delta_2) \alpha$ ,  $B_k^c = (B - 0,5 \Delta_3) \alpha$ , где  $H, h, B$  – высота головок, толщина полотна и ширина готового профиля в холодном состоянии;  $k$  – индекс чистового калибра.

2. В зависимости от высоты головок готового профиля и характеристики прокатного стана (диаметра валков, количества клетей и мощности главных приводов) определяют из практических данных толщину исходной полосы прямоугольного сечения, задаваемого в первый фасонный калибр, и число фасонных калибров  $k$ . На практике отношение толщины исходной полосы к высоте головок готового профиля в условиях различных заводов изменяется от 2,5 до 6,0, а число фасонных калибров  $k$  обычно колеблется от 4 до 9.

Суммарные коэффициенты обжатия по головкам  $1/\eta_\Sigma^r$  и полотну  $1/\eta_\Sigma^p$  в фасонных калибрах находят из условия  $H_0 = H_k(1/\eta_\Sigma^r) = h_k(1/\eta_\Sigma^p)$ , где  $H_k, h_k$  – высота головок и толщина полотна в чистом

вом (к-том) калибре;  $H_0$  — высота исходной полосы прямоугольного сечения, задаваемой в первый фасонный калибр.

После определения суммарных коэффициентов обжатия  $1/\eta_\Sigma^r$  и  $1/\eta_\Sigma^n$ , их распределяют по проходам в соответствии с рис. 76.

3. На основании принятых коэффициентов высотной деформации рассчитывают толщину полотна  $h_{i-1}$  и высоту головок  $H_{i-1}$  по проходам  $h_{i-1} = h_i(1/\eta_i^n)$ ,  $i = k, k-1, \dots, 2$ ,  $H_{i-1} = H_i(1/\eta_i^r)$ ,  $i = k, k-1, \dots, 2$ , где  $i$  — номер фасонного калибра по ходу прокатки.

4. Коэффициент  $1/\eta_i$  бокового обжатия головок для  $i$ -того калибра равен  $1/\eta_i = (1/\eta_i^n)/(1/\eta_i^r)$ .

5. По вычисленным коэффициентам  $1/\eta_i$  бокового обжатия головок находят ширину головок  $B_{i-1}^r$  по средней линии полотна  $B_{i-1}^r = B_i^r(1/\eta_i)$ . При этом для чистового калибра ширина головок равна их высоте, т.е.  $B_k^r = H_k$ .

6. Определяют высоту открытых  $h_{k-1}^o$  и закрытых  $h_{k-1}^3$  фланцев в предчистовом калибре ( $k-1$ ) по формуле  $h_{k-1}^o = h_{k-1}^3 = 0,5(H_{k-1} - h_{k-1})$  и высоту открытых  $h_i^o$  и закрытых  $h_i^3$  в черновых калибрах  $h_i^o = 0,5(H_i - h_i) + 1$ , где  $i = k-2, k = 3, \dots, 1$ ;  $h_i^3 = h_i^o - 2$ , где  $i = k-2, k-3, \dots, 1$ .

7. Толщину  $a_i^o$  открытых фланцев на конце вычисляют из эмпирического соотношения  $a_i^o = (0,65 \div 0,75)B_i^r$ .

8. Далее определяют уширение в чистовом калибре  $\Delta B_k = 0,01 B_k^c + (1,5 \div 2,0)$  и в остальных фасонных калибрах  $\Delta B_i = 0,01 B_k^c + 0,25(k-i)$ , где  $i = k-1, \dots, 2$ , где  $B_k^c$  — ширина профиля по средней линии в чистовом калибре (см. рис. 69, б).

9. Ширину предчистового калибра по средней линии полотна с учетом уширения  $\Delta B_k$  рассчитывают по формуле  $B_{i-1}^c = B_k^c - \Delta B_k$ , где  $i = k$ , а ширина черновых калибров с учетом уширения  $\Delta B_i$ , равна  $B_{i-1}^c = B_i^c - \Delta B_i$ , где  $i = k-1, k-2, \dots, 1$ .

10. Ширину предчистового и черновых калибров  $B_i^k$  с учетом уклона боковых стенок вычисляют по формуле  $B_i^k = B_i^c + 2(0,5 h_i + h_i^o)\varphi$ , где  $i = k-1, k-2, \dots, 1$ , где  $\varphi$  — уклон боковых стенок калибра, который обычно принимают равным 5–7 %.

11. Для расчета дополнительных размеров, необходимых для построения чистового калибра (см. рис. 69, б), рекомендуют следующие формулы  $A_k = A\alpha = (B-h)\alpha$ ,  $B_k^k = (B + \Delta_3)\alpha$ ,  $r = 0,5 H_k$ ,  $s_k = (0,004 \div 0,008)D$ , где  $s_k$  — величина зазора между буртами;  $D$  — диаметр валков по полотну профиля.

В чистовом калибре (см. рис. 69, б) радиус  $R_k$  подбирают конструктивно для сопряжения точек 1 и 2.

12. Для предчистового калибра (см. рис. 69, в) радиус  $R_i$  ( $i = k-1$ ) вычисляют по формуле  $R_i = 1,3 H_i$ , где  $i = k-1$ , а для предчистового  $R_i = R_{i+1} + 10,0$ , где  $i = k-2$ .

Таблица 4. Расчетные данные калибровки профиля для подвижного звена дверной петли автомобиля "Жигули"

| № ка-<br>либра | Размеры, мм      |                  |      |                    |                       |      |      |                |                      |                      |                     |                       | s   |
|----------------|------------------|------------------|------|--------------------|-----------------------|------|------|----------------|----------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|-----|
|                | 1/η <sup>n</sup> | 1/η <sup>r</sup> | 1/η  | ΔB                 | B <sup>c</sup>        | h    | H    | B <sup>r</sup> | a <sup>o</sup>       | h <sup>o</sup>       | h <sup>3</sup>      | B <sup>K</sup>        |     |
| 1              | 1,29             | 1,13             | 1,14 | $\frac{3,41}{2,5}$ | $\frac{121,3}{122,5}$ | 70,0 | 80,0 | 37,2           | $\frac{26,0}{19,0}$  | $\frac{6,0}{10,0}$   | $\frac{4,0}{0}$     | $\frac{126,9}{127,0}$ | 9,5 |
| 2              | 1,35             | 1,11             | 1,21 | $\frac{3,16}{2,9}$ | $\frac{124,5}{125,4}$ | 52,0 | 72,0 | 30,8           | $\frac{21,5}{20,0}$  | $\frac{11,0}{10,0}$  | $\frac{9,0}{10,0}$  | $\frac{129,7}{129,0}$ | 9,5 |
| 3              | 1,405            | 1,14             | 1,23 | $\frac{2,91}{2,2}$ | $\frac{127,4}{127,6}$ | 37,0 | 63,0 | 25,0           | $\frac{17,5}{14,0}$  | $\frac{14,0}{14,0}$  | $\frac{12,0}{12,0}$ | $\frac{132,1}{130,8}$ | 9,5 |
| 4              | 1,48             | 1,17             | 1,26 | $\frac{2,66}{2,4}$ | $\frac{130,1}{130,0}$ | 25,0 | 54,0 | 19,8           | $\frac{13,9}{12,5}$  | $\frac{15,5}{15,0}$  | $\frac{13,5}{14,0}$ | $\frac{134,4}{132,7}$ | 9,5 |
| 5              | 1,52             | 1,24             | 1,23 | $\frac{2,41}{1,0}$ | $\frac{132,5}{131,0}$ | 16,5 | 43,5 | 16,1           | $\frac{11,3}{10,3}$  | $\frac{14,5}{15,0}$  | $\frac{12,5}{12,0}$ | $\frac{136,2}{133,4}$ | 8,0 |
| 6              | 1,434            | 1,32             | 1,09 | $\frac{2,16}{1,9}$ | $\frac{134,6}{132,9}$ | 11,5 | 33,0 | 14,8           | $\frac{10,4}{10,0}$  | $\frac{11,75}{12,0}$ | $\frac{9,75}{9,5}$  | $\frac{137,9}{134,7}$ | 8,0 |
| 7              | 1,40             | 1,34             | 1,04 | $\frac{1,91}{2,5}$ | $\frac{136,5}{135,4}$ | 8,2  | 24,7 | 14,2           | $\frac{9,967}{11,3}$ | $\frac{9,25}{9,0}$   | $\frac{7,25}{7,5}$  | $\frac{139,4}{136,7}$ | 8,0 |
| 8              | 1,26             | 1,26             | 1,0  | $\frac{1,66}{1,2}$ | $\frac{138,2}{137,6}$ | 6,5  | 19,5 | 14,2           | $\frac{9,96}{9,96}$  | $\frac{6,5}{6,5}$    | $\frac{6,5}{6,5}$   | $\frac{140,8}{138,4}$ | 5,0 |
| 9              | 1,18             | 1,27             | 0,93 | $\frac{2,9}{3,5}$  | $\frac{141,1}{141,1}$ | 5,5  | 15,3 | 15,3           | —                    | —                    | —                   | $\frac{142,5}{142,5}$ | 4,0 |

Примечание. Числитель — расчетные значения, знаменатель — данные действующей калибровки.

Примечание. Числитель — расчетные значения, знаменатель — данные действующей калибровки.

13. Радиусы закругления  $r_{i-1}$  и  $\rho_{i-1}$  фланцев в предчистовом (см. рис. 69, а) и черновых (см. рис. 69, з) калибрах находят из соотношений  $r_{i-1} = r_i + (1 \div 2)$  мм, где  $i = \kappa - 1, \kappa - 2, \dots, 2$ ;  $\rho_{i-1} = \rho_i + (1 \div 2)$  мм, где  $i = \kappa - 1, \kappa - 2, \dots, 2$ .

При этом в чистовом калибре радиусы  $r_\kappa$  и  $\rho_\kappa$  равны  $r_\kappa = 0,5 H$ ,  $\rho_\kappa = 5 \div 7$  мм.

14. Величину зазора  $s$  между буртами для предчистового и черновых калибров определяют по формуле  $s = (0,008 \div 0,020) D$ .

Зазор уменьшают в направлении хода прокатки.

После расчета калибровки определяют площади калибров при помощи планиметрирования или графоаналитическим методом.

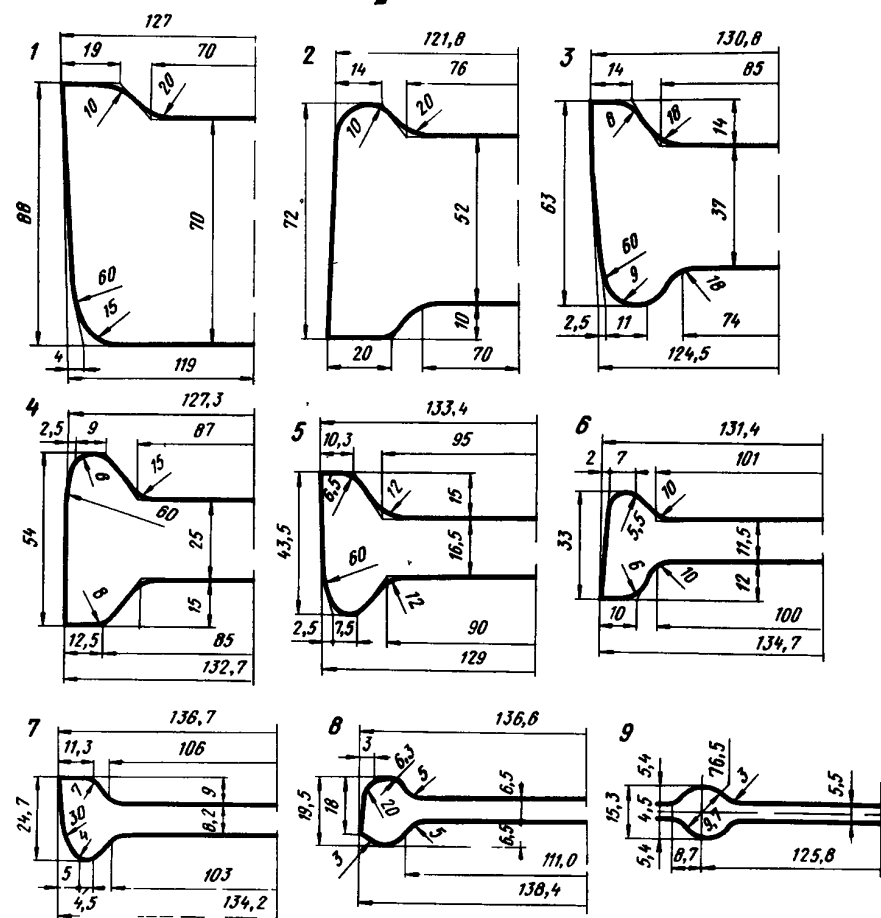


Рис. 77. Размеры шаблонов калибров для прокатки горячекатаного подката для подвижного звена дверной петли автомобиля "Жигули"

Направление разъемов в предчистовом и черновых калибрах необходимо чередовать, как это обычно и делают при прокатке профилей в закрытых калибрах.

Для проверки разработанной методики проектирования калибровки были рассчитаны калибры для прокатки горячекатаного подката профиля подвижного звена дверной петли автомобиля "Жигули" в условиях линейного стана 500. Для возможности сравнения количество фасонных калибров, коэффициенты обжатия  $1/\eta_i^p$  и  $1/\eta_i^f$  и толщина исходного прямоугольного сечения были взяты согласно действующей на заводе калибровки. Данные расчетной и фактической калибровок приведены в табл. 4. Спроектированная калибровка приведена на рис. 77.

Максимальное отклонение ширины калибра по средней линии полотна от действующей калибровки составляет 1,75 %, а ширины калибра — 2,38 %.

## Глава 6. ПРОФИЛИ БОРТОВЫХ КОЛЕЦ ОБОДОВ КОЛЕС

### ПРОКАТКА ПРОФИЛЕЙ БОРТОВЫХ КОЛЕЦ С ТРАПЕЦИЕВИДНЫМ ВЫСТУПОМ

Бортовые кольца с трапецевидным выступом применяют для трех-компонентного обода колеса грузовых автомобилей общего назначения, автоприцепов, автобусов и троллейбусов и уже длительное время производят на металлургических заводах нашей страны. На рис. 78, а и рис. 79, а представлены профили бортового кольца обычного и облег-

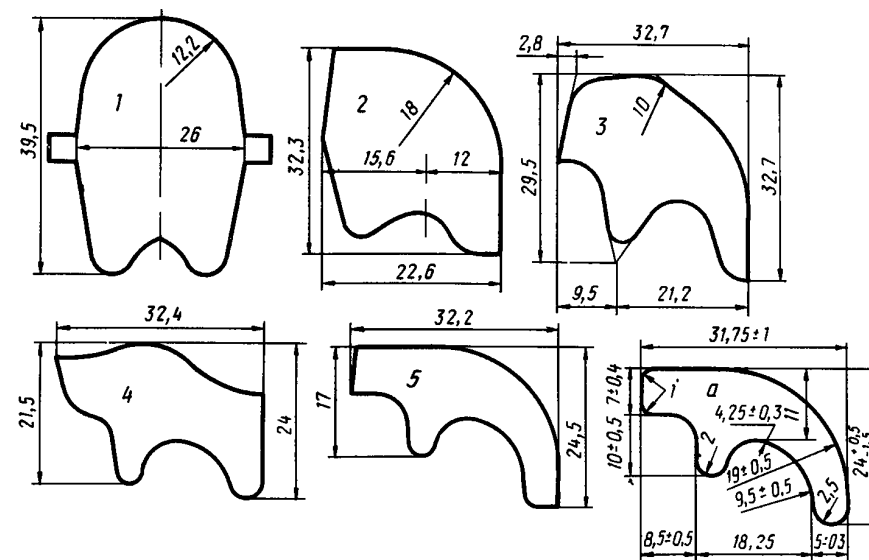


Рис. 78. Схема прокатки профиля бортового кольца с трапецевидным выступом (а — готовый профиль)

Прокатку профилей бортовых колец С-образной формы с трапецевидным выступом ведут, как правило, на линейных мелкосортных станах с валками диаметром 250 – 330 мм. В работе [3] рассмотрена представляющая интерес калибровка профиля бортового кольца за пять фасонных

Хотя форма профиля бортового кольца, имеющего выступ, и предопределяет в значительной степени конструкцию фасонных калибров, в то же время применяемые схемы прокатки могут иметь существенные различия друг с другом.

1. Нерациональное расположение разъемов валков в фасонных калибрах. Так как в чистовом калибре разъем выполнен внизу, то поэтому нарушается параллельность вертикальных граней основания и выступа профиля, которые являются опорными поверхностями при сборке колеса автомобиля. Кроме того, угол верхней части основания из-за уклона получался больше  $90^\circ$ , что также недопустимо.

При прокатке профиля бортового кольца облегченного типа (см. рис. 79, а) для автомобиля ГАЗ-51 была применена усовершенствованная схема, которая не имеет приведенных выше недостатков и ее можно считать типовой схемой для прокатки профилей бортовых колец С-образной формы с трапецевидным выступом. В этой схеме по сравнению с предыдущей изменено расположение разъемов валков в фасонных калибрах и предчистовой калибр выполнен полузакрытым. Целесообразность применения схемы подтверждена опытом различных заводов [84 — 86].

Рис. 79. Размеры калибров при прокатке облегченного профиля бортового кольца колеса 5.00S-20 (а — готовый профиль):  
1 — V — клетки

торцевых поверхностей основания и бортовой части в предчистовом калибре можно предусматривать стесненное уширение.

Схема прокатки бортового кольца с полужакрытым предчистовым калибром имеет также и недостатки, которые в основном сводятся к следующему:

1. При формировании бортовой части профиля за счет бокового обжатия невозможно предусмотреть значительное уменьшение толщины бортовой части по ходу прокатки. Вследствие этого в калибрах наблюдается существенная неравномерная деформация и при выходе раската из калибра происходит его скручивание, которое трудно устранить настройкой валковой арматуры.

2. Сравнительно глубокий врез калибров в валки, ослабляющий прочность валков. Кроме того, при глубоком врезе отбеленный слой валков не сохраняется и по поверхности калибра имеет сравнительно мягкую переходную зону. В результате снижается стойкость калибров.

3. При боковом обжатии бортовой части возникают значительные осевые усилия. Для компенсации осевых усилий приходится на валках предусматривать опорные конусы, которые занимают много места и сокращают общее число калибров на валках. При износе опорных конусов изменяется толщина бортовой части и на готовом профиле этот размер может выйти из пределов допускаемых отклонений. Иногда происходит поломка опорных конусов.

Для подгонки опорных конусов можно рекомендовать следующий способ, применяемый на некоторых заводах [34] для прокатки различных видов профилей бортовых колец. Вначале при изготовлении нового комплекта валков окончательно растачивают ручки только одного валка, а ручки второго валка растачивают вчерне. Опорные конусы тщательно подгоняют. Зазор во всех опорных конусах должен быть примерно одинаковым и по возможности минимальным. Затем этот комплект валков устанавливают в рабочую клеть стана и производят так называемую притирку опорных конусов прижатием валков в осевом направлении при их вращении вхолостую. После этого калибры окончательно отделывают на вальцетокарных станках. Этот способ используют в тех случаях, когда на прокатном стане одновременно работают не все клетки, что часто встречается на мелкосортных линейных станах, где отдельные профили прокатывают за разное число проходов. На притирку опорных конусов новых валков затрачивается время, которое, однако, не влияет на производительность стана. Следует заметить, что вполне возможно в случае необходимости устанавливать для притирки конусов специальные клетки или переоборудовать для этого вальцетокарные станки.

Освоение облегченного профиля бортового кольца по чертежу 24 ч-016-А из стали СтЗкп на линейном мелкосортном стане 325 рассмотрено в работе [86]; масса на 1 м длины меньше, чем у обычного профиля на 20 — 22 % и составляет 2,28 кг.

Для прокатки профиля была принята схема с полужакрытым предчистовым калибром (рис. 80). При расчете калибровки разбивали профиль на отдельные элементы (I — основание, II — выступ, III — бортовая часть,

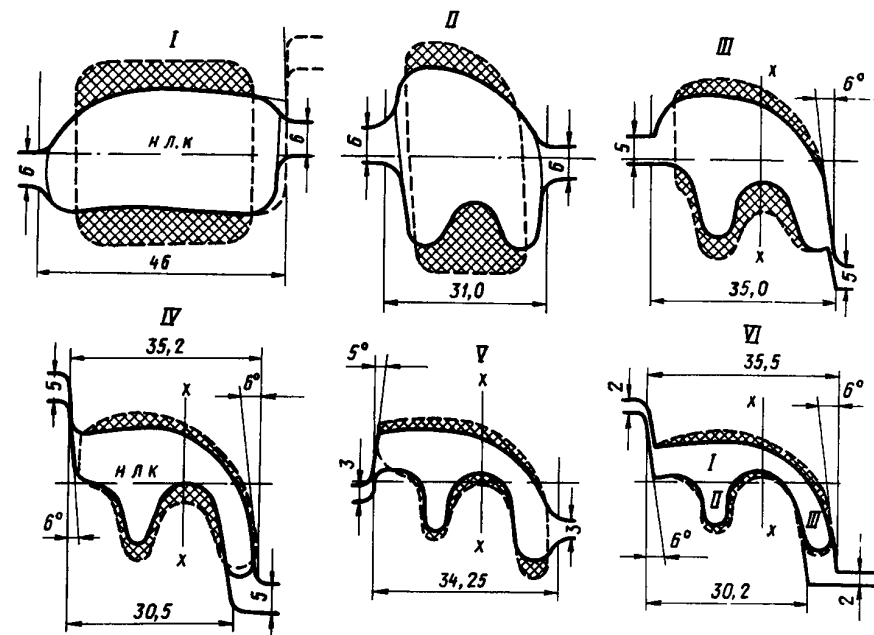


Рис. 80. Схема прокатки и расположение калибров на валках для облегченного профиля бортового кольца (I — VI — клетки)

см. рис. 80, клеть VI), причем, в каждом пропуске для элементов I, II и III был принят одинаковый коэффициент вытяжки, для элементов II — на 0,04 — 0,07 больше. Конструктивное оформление основания и выступа профиля в промежуточных фасонных калибрах не вызывало существенных затруднений, так как конфигурация этих частей профиля и соответствующих расчетных элементов весьма сходны между собой. Основные трудности заключались в формировании бортовой части, которая в расчетном профиле образуется двумя прямоугольными элементами I и III, а в действительном профиле (рис. 80) имеет изогнутую форму (наружный радиус 19 мм) и разную толщину у основания и у конца. Чтобы в промежуточных фасонных калибрах бортовая часть имела одинаковые с расчетной коэффициенты вытяжки, необходимо было по мере удаления от чистового калибра против хода прокатки увеличивать наружный радиус закругления, что практически вряд ли выполнимо. Мало вероятно также возможность достичь расчетным путем равенства коэффициента вытяжки. Поэтому при расчете калибровки был применен прием, заключающийся в следующем. В каждом калибре в месте условного соединения бортовой части проводят вертикальную ось  $x-x$ . Задаваемый профиль накладывают на калибр так, чтобы совпали оси  $x-x$  и центры тяжести профилей.

Далее с помощью планиметра определяют площади правой и левой относительно оси  $x-x$  частей калибра и задаваемого профиля с учетом возможного незаполнения калибра. На основании определенных площадей корректируют размеры поступающего в калибр раската (в основном его

правой бортовой части) до получения одинаковых коэффициентов вытяжки в правой и левой частях калибра.

В дальнейшем производство облегченного профиля бортового кольца было передано на линейный мелкосортный стан 250. При этом за основу приняли калибровку стана 325. Окончательные размеры калибров приведены на рис. 79.

В период освоения и перехода на поставку промышленных партий профиля бортового кольца встретились со значительными трудностями [84]. В фасонных калибрах происходило скручивание полос в направлении бортовой части против часовой стрелки. В верхней части основания профиля, соответствующей разъему чистового калибра, на одном и то же раскате наблюдали и незаполнение угла и образование заусенцев (переполнение).

Для устранения скручивания после чистовой клети изменили конструкцию отводящего желоба, прикрепив сверху со стороны открытой части желоба планки из мягкой стали таким образом, чтобы расстояние по вертикали от дна желоба до поверхности планок было несколько меньше высоты профиля и препятствовало бы скручиванию. Планки закрепляют только с одной стороны, что позволяет производить их регулировку во время прокатки. В калибрах клетей III и IV отказались от скругления углов основания профиля по радиусу, которые обуславливали неравномерное заполнение в соответствующих местах разъема последующих калибров, и заменили их прямыми скосами. Такое изменение конструкции калибров значительно облегчило настройку стана.

Для предчистового калибра была применена рациональная конструкция основания профиля с утолщениями ее на конце, т.е. с треугольным скосом размерами 0,8Х3,0 мм на нижнем валке (см. рис. 79). При длине основания 8,4 мм такой скос ввиду его незначительных размеров практически не влияет на положение задаваемой полосы относительно средней линии валков чистовой клети. В чистовой клети в нижнем углу основания профиля происходит значительная деформация местного характера, обуславливающая хорошее заполнение угла. Заполнение верхнего угла в чистовой клети легко регулируют изменением толщины основания предчистового калибра, так как наличие скоса в предчистовом калибре позволяет получить необходимое заполнение верхнего угла (независимо от нижнего) готового профиля изменением величины обжатия.

Кроме рассмотренного профиля бортового кольца с трапецевидным выступом на линейном стане 330 был освоен [85] аналогичный по форме профиль массой 3,4 кг на 1 м длины. Профиль прокатывают по схеме, представленной на рис. 78. Несмотря на значительную массу на 1 м длины, на стане 330 применили петлевую прокатку в чистовой клети. Это позволило значительно сократить паузы при прокатке и повысить температуру конца прокатки. На основании опыта рекомендуют [85] выступ профиля бортового кольца получать в первых двух по ходу прокатки фасонных калибрах, причем выступ должен иметь такие размеры, которые позволили бы в дальнейшем при минимальном обжатии

его по ширине компенсировать с избытком его неизбежную утяжку по высоте.

Совершенно ошибочным является стремление образовать выступ в конце прокатки (т.е. в чистовом калибре) за счет перемещения металла из предусматриваемой калибровкой верхней выпуклости в закрытую нижнюю часть калибра, т.е. в выступ. Действительно, при понижении температуры к концу прокатки эффективное заполнение выступа таким путем не представляется возможным, так как из обжимаемой выпуклости в верхней части раската металл расходуется на уширение, образуя переполнение в месте разъема основания профиля в чистовом калибре.

#### ПРОКАТКА И КАЛИБРОВКА ПРОФИЛЕЙ БОРТОВЫХ КОЛЕЦ В РАЗВЕРНУТЫХ КАЛИБРАХ

По мере совершенствования конструкций ободов колес автомобилей происходит и изменение формы и размеров профилей, предназначенных для изготовления ободов. Профили бортовых колец С-образной формы без явно выраженного выступа применяют для трехкомпонентных ободов автомобилей общего назначения и для колес с регулируемым давлением воздуха в шине, для грузовых автомобилей высокой проходимости, специальных машин и т.д.

На рис. 81 приведена схема прокатки профиля бортового кольца колеса 7.0-27 автомобиля ЗИЛ-164 на линейном стане 250. В связи с небольшой высотой выступа применены развернутые черновые калибры с последующим сгибанием профиля только в чистовой клети [87]. Коэф-

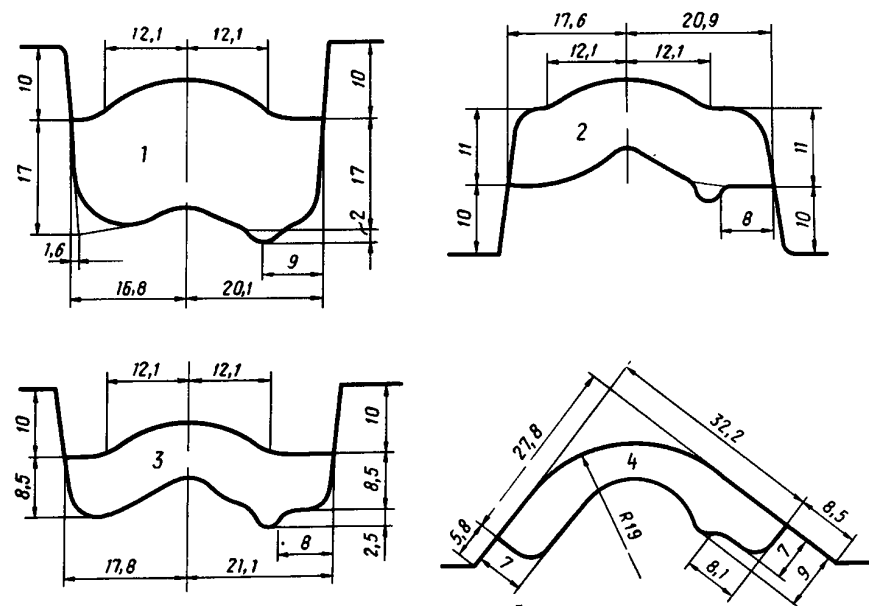


Рис. 81. Схема прокатки профиля бортового кольца ПР.70-27-01 с применением развернутых калибров

коэффициенты обжатия в фасонных калибрах по ходу прокатки равны 1,825; 1,545; 1,295 и 1,215.

Расположение калибра в валках чистовой клетки выбрано таким образом, чтобы нижние углы основания и бортовой части находились на одной прямой, параллельной оси валков. Закрытый ручей верхнего валка в чистовой клетке обеспечивает нормальный процесс сгибания раската. В предчистовой клетке положение разъема такое же, как и в чистовой, так как при изменении в предчистовой клетке направления разъема на обратное в процессе сгибания раската в чистовой клетке не удастся получить правильную форму торцевой поверхности основания профиля, которая будет иметь некоторый наклон относительно граней основания.

При определении размеров чистового калибра ширина профиля принята на 0,2 мм меньше номинального размера. Причина такого уменьшения ширины заключается в том, что при прокатке готовый профиль должен иметь торцевую часть основания с небольшим прямым участком и поэтому следует предусматривать заполнение калибра по его ширине. Длину бортовой части проектируют с учетом использования полного плюсового допуска, так как конец бортовой части может быть закруглен произвольным радиусом. Однако при этом вычитаем плюсовой допуск по толщине основания вследствие того, что при максимально допускаемой толщине основания длина бортовой части увеличивается на величину плюсового допуска.

Калибровка профиля бортового кольца для автомобиля ЗИЛ-164 была выполнена при совпадении верхнего радиуса закругления ( $R = 19$  мм) средней части во всех фасонных калибрах. Уширение определяли по формуле (1). Уширение в развернутых калибрах принимали 0,6 от свободного. Выпуск боковых стенок калибров составляет 10 % в клетке II (2-я линия) и клетке III; в клетке IV выпуск равен 7 %. Калибры расположены в валках с совмещением их нейтральной линии, определенной по центрам тяжести шаблонов, со средней линией валков.

При освоении профиля была прокатана опытная партия при хорошем совпадении фактических размеров темплетов с расчетными. К недостаткам калибровки следует отнести некоторое затруднение в получении ровной торцевой поверхности основания профиля [87].

К преимуществам схемы прокатки бортовых колец в развернутых калибрах следует отнести отсутствие опорных конусов, значительно более мелкий врез в валки, формирование профиля за счет прямого или почти прямого обжатия, уменьшение числа фасонных калибров, отсутствие скручивания полосы при прокатке и повышенную стойкость калибров.

В то же время прокатка профилей бортовых колец с применением черновых развернутых калибров имеет и некоторые недостатки:

а) необходимость сгибания раската в чистовом калибре, что в случае значительной толщины основания и бортовой части может привести к искажению формы профиля и образованию дефектов;

б) ухудшение условий формирования торцевой поверхности основания профиля, к которой предъявляют повышенные требования в связи с сопряжением ее с другими профилями при сборке колеса;

в) усложнение расчета калибровки при определении формоизменения в чистовом калибре, в котором происходит сгибание раската.

Однако эти недостатки по сравнению с преимуществами не столь уж существенны и поэтому прокатка профилей бортовых колец С-образной формы в развернутом виде нашла широкое применение в прокатном производстве.

При прокатке профилей бортовых колец С-образной формы в развернутых калибрах обычно вполне достаточно четырех фасонных калибров, включая и чистовой [87, 88]. В некоторых случаях в зависимости от размеров и формы профиля количество фасонных калибров может быть увеличено до пяти. При небольшой разнице в толщинах основания и бортовой части (или при равенстве этих толщин) и полном отсутствии выступа возможна [89] прокатка профиля бортового кольца в трех фасонных калибрах.

Исследования различных схем прокатки профиля бортового кольца 22 X 32 мм без выступа с основанием толщиной 7,0 мм и бортовой части толщиной 6,8 мм для Камского автомобильного завода были проведены на экспериментальном стане 250 [90].

Первый вариант калибровки бортового кольца выполнен по схеме: круг — полоса — ребровой контрольный — закрытый предчистовой — чистовой калибры. Второй вариант: круг — полоса — калибр для формирования впадины с нижней стороны полосы — ребровой несимметричный — закрытый предчистовой и чистовой калибры. В третьем варианте последние три калибра такие же, как и во втором.

Опытная прокатка выявила следующие недостатки калибровок.

При прокатке по первому и второму вариантам и предчистовом калибре происходило скручивание полосы, которое не устранялось в чистовом калибре. При прокатке по третьему варианту наблюдали небольшой изгиб полосы при выходе из предчистового калибра. Заполнение калибров находилось в допустимых пределах.

Результаты исследований были использованы при разработке калибровки профиля бортового кольца 22 X 32 мм для промышленного стана 250.

При прокатке профилей бортовых колец С-образной формы сгибание раската можно производить не в чистовом, а в предчистовом калибре. Такая схема была применена [88] на линейном стане 300 при прокатке профиля бортового кольца для колеса автомобиля КраЗ. Использование предчистового сгибающего калибра позволяет приблизить форму предчистового калибра к форме чистового и тем самым уменьшить усилие при задаче в чистовой калибр. Последнее особенно важно на тех станах, на которых существует еще ручная задача полос в чистовую клетку. С другой стороны, сгибание раската в предчистовом калибре обеспечивает правильное заполнение металлом чистового калибра и приблизительное равенство коэффициентов деформации по элементам.

При освоении профиля бортового кольца для автомобиля КраЗ первоначальная калибровка была выполнена с соблюдением примерного равенства коэффициентов деформации отдельных элементов профиля.

Расположение чистового калибра в валках определяли на основании равенства вертикальных проекций бортовой части и основания профиля. Форму калибров клеток III и IV (рис. 82, а) выбирали исходя из условия плавного формоизменения от прямоугольного сечения к форме предчистового калибра (клеть V). Размеры калибров определяли на основании равенства коэффициентов деформации по сечению и с учетом распределения поля температур. Так, например, коэффициент обжатия бортовой части, середины и основания составили соответственно 1,28; 1,29; 1,35 в калибре клетки IV и 1,42; 1,57 и 1,62 в калибре клетки III.

В процессе освоения профиля были выявлены следующие недостатки первоначального варианта калибровки: а) незаполнение бортовой части и основания в предчистовом и чистовом калибрах; б) образование складки

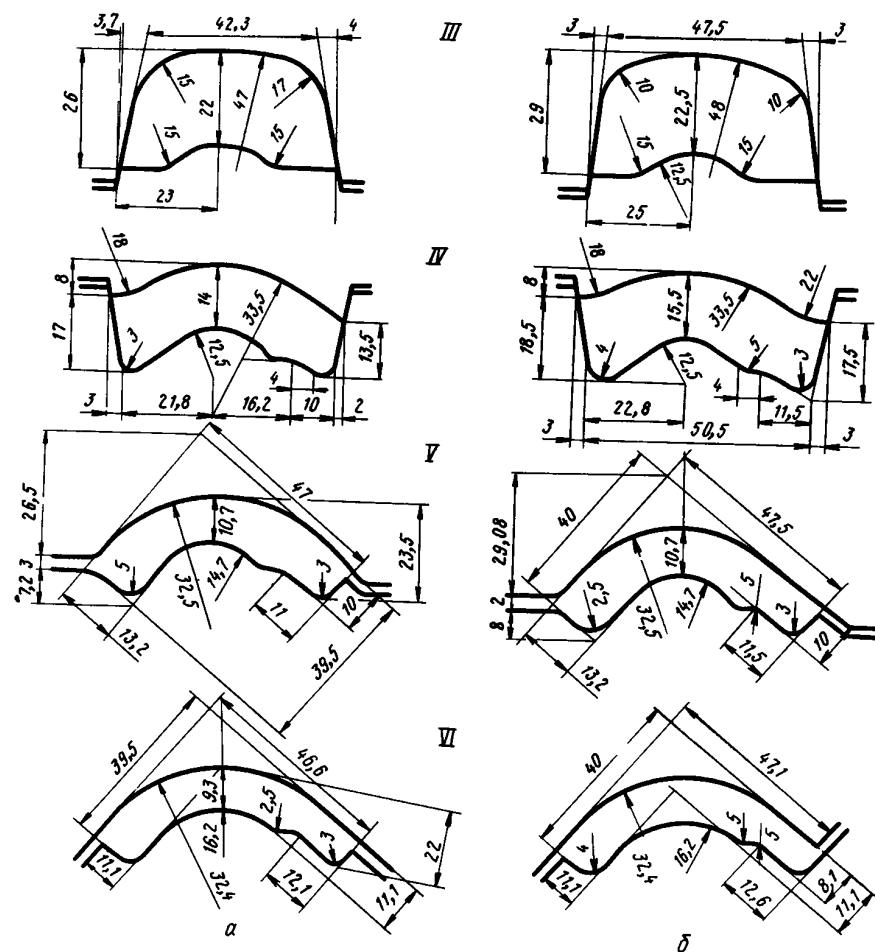


Рис. 82. Размеры калибров для прокатки профиля бортового кольца по первоначальной (а) и усовершенствованной (б) схеме

(переполнения) на боковой поверхности основания профиля; в) увеличенная толщина средней части, близкая к плюсовому допуску.

При корректировке калибровки была увеличена ширина бортовой части и основания в предчистовом и чистовом калибрах. Для улучшения заполнения калибров клеток V и VI увеличена на 1,5 мм высота и ширина калибра клетки IV с одновременным увеличением размеров калибра клетки III. Кроме того изменили толщину средней части в калибрах клеток V и VI и направление разъема у основания профиля в клетке VI. Размеры шаблонов для усовершенствованной калибровки представлены на рис. 82, б.

#### МЕТОДИКА РАСЧЕТА КАЛИБРОВКИ ПРОФИЛЕЙ БОРТОВЫХ КОЛЕЦ В РАЗВЕРНУТЫХ КАЛИБРАХ

Опыт прокатки профилей бортовых колец С-образной формы без выступа или с незначительным выступом [88 — 90 и др.] показал, что наиболее целесообразна прокатка этих профилей в развернутых калибрах при полном совпадении их средних линий. Такая конструкция разверну-

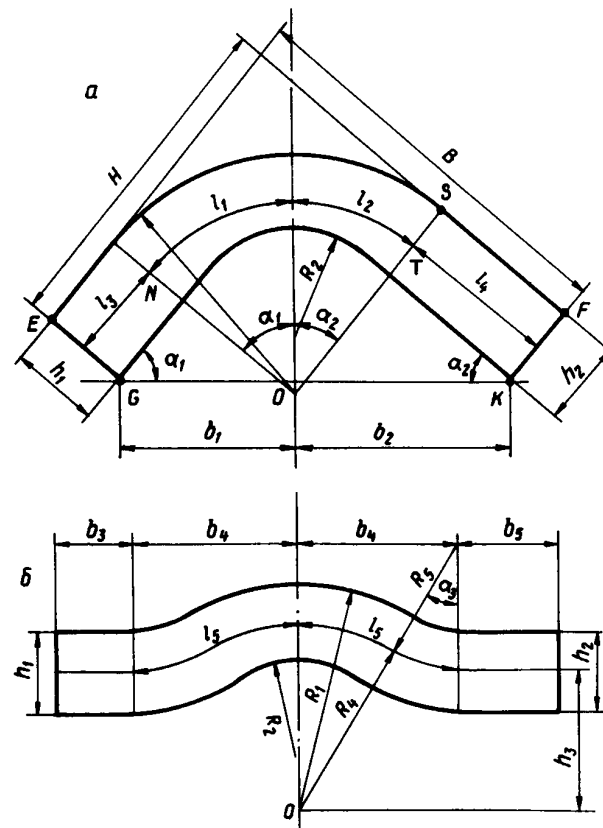


Рис. 83. Расположение чистового калибра в валках (а) и условный чистовый калибр (б) при прокатке профиля бортового кольца С-образной формы

тых калибров обеспечивает условия плавного формоизменения в калибрах и удобство расчетов при проектировании калибровки.

Методика расчета калибровки, основанная на полном совпадении средних линий развернутых калибров, заключается в следующем.

В целях устранения осевых усилий при прокатке чистовой калибр располагают в валках таким образом, чтобы его нижние точки ( $G$  и  $K$ ) находились на одной горизонтали (рис. 83, а). Длину средней линии  $l_1$  определяют для радиуса  $R_3 = R_1 - 0,5 h_1$ , а средней линии  $l_2$  для радиуса  $R_4 = R_1 - 0,5 h_2$ . Центры радиусов  $R_3$  и  $R_4$  совпадают с центром радиуса  $R_1$ . Так как в общем случае  $h_1 \neq h_2$ , то точки  $E$  и  $F$  не лежат на одной горизонтали.

Углы  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  равны  $\alpha_1 = \arcsin [(B - h_1) / \sqrt{(H - h_2)^2 + (B - h_1)^2}]$ ;  $\alpha_2 = \arcsin [(H - h_2) / \sqrt{(H - h_2)^2 + (B - h_1)^2}]$ , или  $\alpha_2 = \pi/2 - \alpha_1$ .

Тогда длины  $l_1$  и  $l_2$  средних линий изогнутого элемента  $l_1 = \pi R_3 \alpha_1 / 180$  и  $l_2 = \pi R_4 \alpha_2 / 180$  и длины  $l_3$  и  $l_4$  прямых элементов  $PE$  и  $SF$   $l_3 = H - R_1$ ,  $l_4 = B - R_1$ .

Длина средней линии  $L$  всего профиля в чистовом калибре равна  $L = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 = \pi R_3 \alpha_1 / 180 + \pi R_4 \alpha_2 / 180 + H + B - 2R_1$ .

Далее находят размеры  $b_1$  и  $b_2$ :  $b_1 = (R_1 \operatorname{tg} \alpha_1 + l_3 + h_1 \operatorname{ctg} \alpha_1) \times \cos \alpha_1 - h_1 / \sin \alpha_1$ ;  $b_2 = (R_1 \operatorname{tg} \alpha_2 + l_4 + h_2 \operatorname{ctg} \alpha_2) \cos \alpha_2 - h_2 / \sin \alpha_2$ .

При построении условного развернутого чистового калибра (рис. 83, б) среднюю линию горизонтальных элементов проводят в зависимости от расстояний точек  $P$  и  $S$  (см. рис. 83, а) до горизонтали  $GK$ . Пусть точка  $S$  находится на большем расстоянии от горизонтали  $GK$ , чем точка  $P$ . Тогда среднюю линию горизонтальных элементов условного чистового калибра проводят ниже точки  $S$  на расстоянии  $0,5 h_2$  (рис. 83, б). Радиус средней линии изогнутого элемента калибра принимают равным  $R_4$ . Значение радиуса  $R_5$  выбирают в зависимости от длины средней линии  $R_5 = (0,40 \div 0,55) (l_2 + l_4)$ .

Так как среднюю линию горизонтальных элементов условного чистового калибра проводят ниже точки  $S$  (см. рис. 83, а) на величину  $0,5 h_2$ , то можно найти  $h_3$  (см. рис. 83, б)  $h_3 = R_1 \cos \alpha_2 - 0,5 h_2$ .

Тогда  $\alpha_3 = \arccos (R_5 + h_3) / (R_4 + R_5)$ ,  $b_4 = (R_4 + R_5) \sin \alpha_3$ .

Длина средней линии  $l_5$  равна  $l_5 = \pi R_4 \alpha_3 / 180 + \pi R_5 \alpha_3 / 180$ .

Далее определяют ширину горизонтальных элементов  $b_3$  и  $b_5$ :  $b_3 = l_1 + l_3 - l_5$ ;  $b_5 = l_2 + l_4 - l_5$ .

Таким образом известны все размеры условного чистового калибра.

Количество развернутых черновых калибров обычно равно трем, редко — четырем. Все развернутые калибры проектируют с учетом постоянства следующих величин:  $b_4 = \text{const}$ ;  $h_3 = \text{const}$ ,  $R_4 = \text{const}$ ,  $R_5 = \text{const}$ , т.е. средние линии развернутых калибров полностью совпадают. Радиусы перехода от среднего элемента к боковым горизонтальным

элементам для правой части полосы равны  $R_5 - 0,5 h_2$  и  $R_5 + 0,5 h_2$ , а для левой части  $R_5 - 0,5 h_1$  и  $R_5 + 0,5 h_2$ .

Расстояние  $h_3$  от средней линии горизонтальных элементов до горизонтальной прямой, проходящей через центр  $O$  (см. рис. 83, б), зависит от соотношения размеров профиля и может отличаться от тех рекомендаций, которые приведены выше.

Коэффициенты обжатия выбирают с учетом особенностей каждого конкретного стана. Уширение подсчитывают по формуле (1). Общее уширение в калибре распределяют пропорционально длинам средних линий правой и левой частей полосы. В калибре чистовой клетки уширение свободное. В развернутых калибрах его принимают равным  $0,6 - 0,8$  от свободного.

При значительной разнице в толщине основания и бортовой части профиля бортового кольца С-образной формы затруднительно использовать развернутые черновые калибры и поэтому приходится применять такие схемы прокатки, в которых фасонные калибры подобны по форме готовому профилю.

Как было указано выше, при калибровке профилей бортовых колец обычно чистовой калибр в валках располагают таким образом, что соблюдается равенство вертикальных проекций бортовой и замочной частей. При этом предполагается, что при равенстве вертикальных проекций отсутствуют осевые усилия.

Однако, как это показано для случая прокатки неравнобокой угловой стали в работе [91], при принимаемом в чистовом калибре равенстве вертикальных проекций осевые усилия не могут быть устранены полностью. Причина этого заключается в разнице величин контактных поверхностей длинной и короткой полок. Аналогичные результаты получены [92] и при проведении экспериментальных исследований по прокатке на лабораторном стане 280 профилей бортовых колец С-образной формы. Величина осевого усилия в этих экспериментах при равенстве вертикальных проекций колебалась в пределах  $2,7 - 11\%$  от усилия прокатки и зависела прежде всего от соотношения длин бортовой и замочной частей. Для определения угла разворота калибра  $\alpha_1$  (см. рис. 83, а) с точки зрения минимума осевого усилия получено уравнение

$$\frac{[B - 0,5(R_1 + R_2)] \cos \alpha_1 + 0,5(R_1 + R_2)(1 - \sin \alpha_1)}{[H - 0,5(R_1 + R_2)] \sin \alpha_1 + 0,5(R_1 + R_2)(1 - \cos \alpha_1)} = \sqrt{\operatorname{tg} \alpha_1},$$

решение которого относительно  $\alpha_1$  не представляется возможным и поэтому при практических расчетах следует использовать метод последовательных приближений.

В качестве первоначального приближения принимают  $\alpha_1 = \arctg(B/H) + (1,5 \div 3)^\circ$ .

Экспериментальные исследования подтвердили целесообразность прокатки в чистовых (а иногда и предчистовых) калибрах, развернутых относительно оси валка. Величина осевого усилия в этом случае не превышает  $2\%$  от усилия прокатки.

# ПРОКАТКА ПРОФИЛЕЙ БОРТОВЫХ КОЛЕЦ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

В автомобильной промышленности находят широкое применение профили бортовых колец сложной конфигурации.

Профиль бортового кольца 1099 из стали 45 по первоначальной схеме прокатывали на линейном мелкосортном стане 250 с промежуточным подогревом в пяти фасонных калибрах [93]. Калибровка имела существенные недостатки, из которых основными являлись применение ручного труда и низкая производительность стана.

Для увеличения производительности и облегчения условий работы обслуживающего персонала была освоена новая схема прокатки с использованием трех клетей чистовой линии и без промежуточного подогрева. Применение этой новой схемы позволило увеличить производительность стана более чем в два раза, сократить штат вальцовщиков, значительно улучшить качество профиля и снизить себестоимость.

Профиль бортового кольца для колеса 25-т самосвала (рис. 84, а) вследствие асимметрии и значительной разницы в толщине бортовой и замочной частей представляет собой с точки зрения технологии сложный профиль, для прокатки которого невозможно использовать развернутые калибры. Этот профиль был освоен [94] на шестиклетевом линейном стане 360 с расположением клетей в две линии. Так как диаметры валков чистовой линии не могут превышать 360 мм, то на чистовой линии обычно применяют фасонные калибры открытого и полузакрытого типа.

По условию расположения клетей и вспомогательного оборудования количество фасонных калибров должно быть четным. Так как четыре пропуска явно недостаточно для формирования профиля, то предусмотрена прокатка в шести фасонных калибрах с чередованием горизонтального и наклонного расположения калибров. Калибр 1 расположен в валках обжимной клетки 450, калибры 2 — 6 — в пяти клетях чистовой линии. Профиль бортового кольца прокатывают из стали 15. Раскат, задаваемый в первый фасонный калибр, имеет квадратное поперечное сечение 65×65 мм с закруглениями углов радиусом 10 мм. Средний коэффициент вытяжки в фасонных калибрах составляет 1,18. Распределение коэффициентов вытяжки по калибрам принято следующее:  $\lambda_1 = 1,28$ ;  $\lambda_2 = 1,14$ ;  $\lambda_3 = 1,17$ ;  $\lambda_4 = 1,26$ ;  $\lambda_5 = 1,16$ ;  $\lambda_6 = 1,11$ .

Несимметричная форма профиля бортового кольца со сравнительно тонкой бортовой частью, толщина которой равна 12 мм, и более толстой замочной частью толщиной 22 мм приводит к необходимости более интенсивного обжатия бортовой части. Вследствие этого при калибровке профиля предусмотрена значительная неравномерность деформации по элементам профиля.

При освоении профиля в фасонных калибрах 2 — 6 происходило значительное скручивание полос. Для устранения скручивания использовали при корректировке калибровки влияние разности окружных скоростей, изменив углы наклона калибров относительно валков и несколько перераспределив обжатия. Окончательный вариант калибровки профиля

бортового кольца приведен на рис. 84. В калибре 1 угол захвата составляет  $\sim 24^\circ 30'$ ; в остальных калибрах углы захвата значительно меньше предельных значений.

Расположение чистового калибра определяется следующими условиями:

а) необходимостью иметь наклонные стенки ручьев для возможности хорошего восстановления калибров при переточках валков;

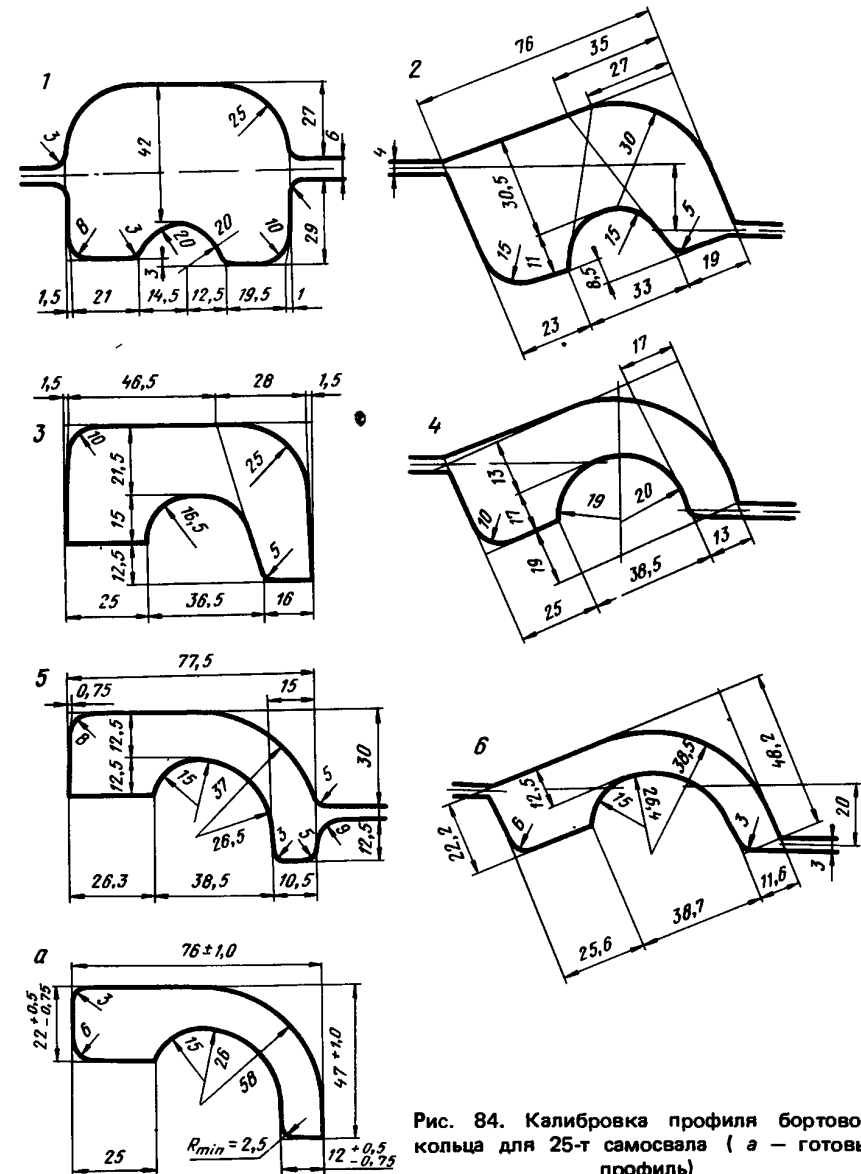


Рис. 84. Калибровка профиля бортового кольца для 25-т самосвала (а — готовый профиль)

б) необходимостью уменьшения до минимума бокового давления при обжатии бортовой части для устранения осевого смещения валков, от величины которого зависит устойчивость в процессе прокатки толщины бортовой части;

в) обеспечением правильного выхода полос из калибров при отсутствии их скручивания.

Для всех фасонных калибров (см. рис. 84) принято последовательное чередование горизонтального и наклонного расположения калибров, что позволило формировать углы замочной части профиля ( $R = 3$  мм и  $R = 6$  мм, см. рис. 84, а) последовательно в закрытых и открытых частях калибров. Кроме того, при наклонном положении калибра можно применять более интенсивные обжатия для тонкой бортовой части профиля.

Для меньшего ослабления прочности валков калибр 1 выполнен с разъемом посередине. На валках чистовой линии, кроме предчистовой клетки, предусмотрены опорные конусы.

#### РАСЧЕТ КАЛИБРОВКИ Z-ОБРАЗНОГО ПРОФИЛЯ ДЛЯ БОРТОВОГО КОЛЬЦА КОЛЕСА АВТОМОБИЛЯ ГАЗ-66

Освоение Z-образного профиля бортового кольца колеса автомобиля ГАЗ-66 (рис. 85, а) было осуществлено [74] на трехклетевом линейном стане 550. Полосы на мерные длины разрезают на трех салазковых пилах. После охлаждения на трехсекционном холодильнике полосы поступают в семироликовую правильную машину с консольным расположением роликов, а затем краном транспортируют на сортировочные столы. Профиль бортового кольца изготавливают из стали СтЗкп; масса на 1 м длины составляет 6,5 кг. Температура конца прокатки на основании практических данных принята  $950^{\circ}\text{C}$ .

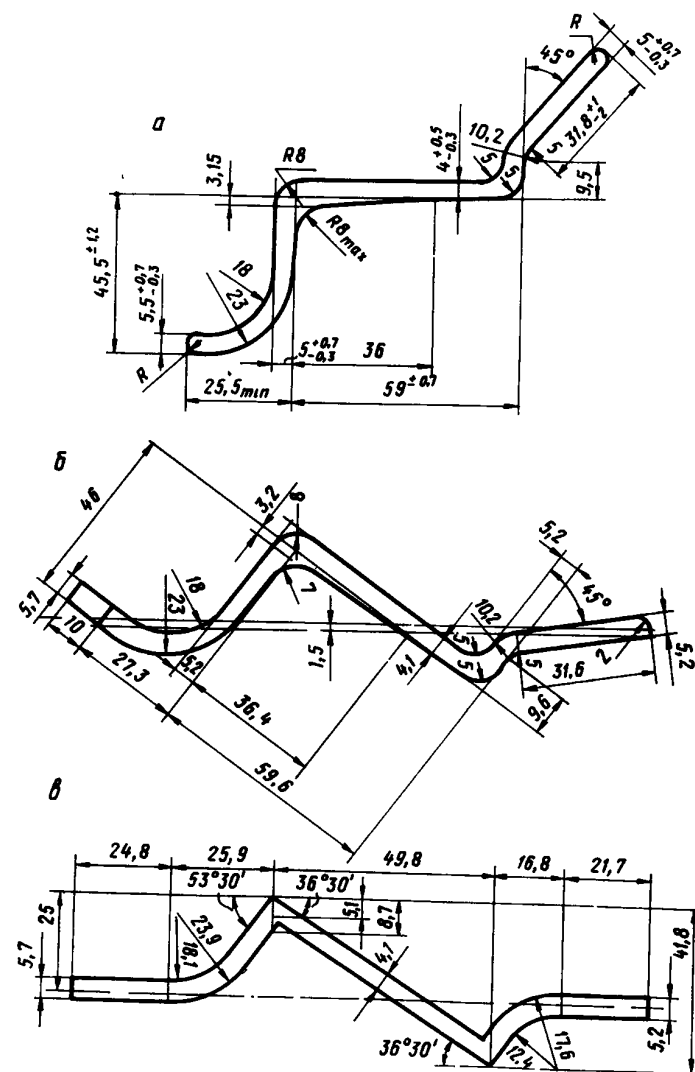
Расчет калибровки выполнен в соответствии с методикой, разработанной для калибровки Z-образного профиля обода и изложенной в гл. 4. Расположение чистового калибра (рис. 85, б) выбрано с учетом удобства прокатки и отсутствия осевых усилий таким образом, что нижние углы концов бортовой части и полки находятся на одной горизонтали. Для полки и горизонтального элемента бортовой части в чистовом калибре принято свободное уширение. Ширина горизонтального элемента бортовой части увеличена по сравнению с расчетной на 10 мм. Это обеспечивает нормальный захват полосы и спрямление изогнутого элемента бортовой части.

Угол наклона  $\beta$  полотна профиля определяют на основании формул (23) и др. и рис. 85, б:  $B_3 = 27,3 + 59,6 + 5,0 - 5,0 \cdot 0,7071 + 31,6 \cdot 0,7071 = 110,7$  мм;  $H_7 = 46,0 + 9,6 + 5,0 \cdot 0,7071 + 31,6 \cdot 0,7071 = 81,4$  мм;  $\beta = \arctg H_7/B_3 = \arctg 81,4/110,4 = 0,736 = 36^{\circ}30'$ .

Затем по формуле (24) базовые размеры  $b_1$  и  $H$ :  $b_1 = [(59,6 + 5,2) - 4,1 \cdot \tg 36^{\circ}30'] \cos 36^{\circ}30' = 49,8$  мм;  $H = (59,6 - 4,1 \tg 36^{\circ}30') \times \chi \cos 36^{\circ}30' = 41,8$  мм.

Длину средней линии полотна (утолщение полотна здесь и в дальнейшем не учитывают) определяют из уравнения (25):  $L_1 = 59,6 + 0,5 \cdot 5,2 = 59,6$  мм, а длину средней линии бортовой части из уравнения (26):  $L_2 = 46,0 + 0,5 \cdot 4,1 - 0,5 \cdot 5,7 - 0,5(18,0 + 23,0) + 0,25 \cdot 3,14(18,0 + 23,0) + (27,3 - 5,2) + 0,5 \cdot 5,2 - 0,5 \cdot (18,0 + 23,0) = 60,9$  мм.

Длину средней линии вычисляют по формуле (27):  $L_3 = 9,6 - 0,5 \cdot 4,1 + 0,25 \cdot 3,14(5,0 + 0,5 \cdot 5,2) + 31,6 = 45,1$  мм.



На основании определенных длин средних линий бортовой части и полки принимают в соответствии с уравнениями (28) и (29)  $R_1 = 21,0$  мм,  $R_2 = 15,0$  мм,  $H_6 = 25,0$  мм.

Длина средней линии полки согласно уравнению (27) равна  $L_3 = 9,6 - 0,5 \cdot 4,1 + 0,25 \cdot 3,14 (5,0 + 0,5 \cdot 5,2) + 31,6 = 45,1$  мм.

На основании определенных длин средних линий бортовой части и полки принимаем в соответствии с формулами (28) и (29)  $R_1 = 21,0$  мм,  $R_2 = 15,0$  мм,  $H_6 = 25,0$  мм.

Ординаты  $b_3$  и  $b_4$  центров радиусов  $R_1$  и  $R_2$  в условном чистовом калибре равны из уравнения (30)  $b_3 = 21,0 \operatorname{tg}(90^\circ - 36^\circ 30'/2) - (25 - 0,5 \cdot 5,7) \operatorname{tg} 36^\circ 30' = 25,9$  мм;  $b_4 = 15,0 \operatorname{tg}(90^\circ - 36^\circ 30'/2) - (25,0 - 0,5 \cdot 5,2) \operatorname{tg} 36^\circ 30' = 16,8$  мм.

Размеры условного чистового калибра приведены на рис. 85, в.

Наиболее подходящей заготовкой для прокатки профиля бортового кольца из сортамента заготовок, прокатываемых на заготовочном стане 800, является полоса поперечным сечением 114 X 148 мм. Распределение проходов по клетям стана 550 следующее:

|                  |   |    |     |
|------------------|---|----|-----|
| Клети . . . . .  | I | II | III |
| Число проходов . | 6 | 4  | 1   |

Первые два прохода по ходу прокатки ведут в сопряженных ящичных калибрах, следующие два — в сопряженных ящичных калибрах ребрового типа и последние семь — в фасонных калибрах. Кантовку полос на  $90^\circ$  осуществляют после второго и четвертого проходов.

Для фасонных калибров 5 — 10 расстояния между вершинами профиля по горизонтали и вертикали (базовые размеры  $b_1$  и  $H$ ), радиусы закруглений  $R_1$  и  $R_2$  средних линий бортовой части и полки и положение средних линий горизонтальных элементов бортовой части и полки (размер  $H_6$  на рис. 66) приняты постоянными и равными:  $b_1 = 49,8$  мм;  $R_1 = 21,0$  мм;  $H = 41,8$  мм;  $R_2 = 15,0$  мм;  $H_6 = 25,0$  мм.

Коэффициенты обжатия и толщина отдельных элементов профиля в калибрах 6 — 11 приведены в табл. 5 (обозначения см. на рис. 66).

Таблица 5. Режим обжатий при прокатке профиля бортового кольца колеса автомобиля ГАЗ-66

| № калибра | Полотно профиля |          | Горизонтальный участок бортовой части |          | Наклонный участок бортовой части |          | Полка профиля |          | Уширение полотна профиля |          |
|-----------|-----------------|----------|---------------------------------------|----------|----------------------------------|----------|---------------|----------|--------------------------|----------|
|           | $H_1$ , мм      | $1/\eta$ | $h_2$ , мм                            | $1/\eta$ | $H_3$ , мм                       | $1/\eta$ | $h_5$ , мм    | $1/\eta$ | $h_6$ , мм               | $1/\eta$ |
| 6         | 22,0            | —        | 27,7                                  | —        | 26,7                             | —        | 26,7          | —        | 31,7                     | —        |
| 7         | 13,5            | 1,63     | 17,0                                  | 1,63     | 16,4                             | 1,63     | 16,4          | 1,63     | 21,0                     | 1,50     |
| 8         | 8,8             | 1,53     | 11,4                                  | 1,49     | 10,9                             | 1,50     | 10,9          | 1,50     | 15,0                     | 1,40     |
| 9         | 6,0             | 1,47     | 8,1                                   | 1,40     | 7,5                              | 1,47     | 7,4           | 1,47     | 10,3                     | 1,45     |
| 10        | 4,6             | 1,30     | 6,4                                   | 1,27     | 5,8                              | 1,28     | 5,8           | 1,28     | 8,2                      | 1,25     |
| 11        | 4,1             | 1,12     | 5,7                                   | 1,12     | 5,2                              | 1,12     | 5,2           | 1,12     | 7,3                      | 1,12     |

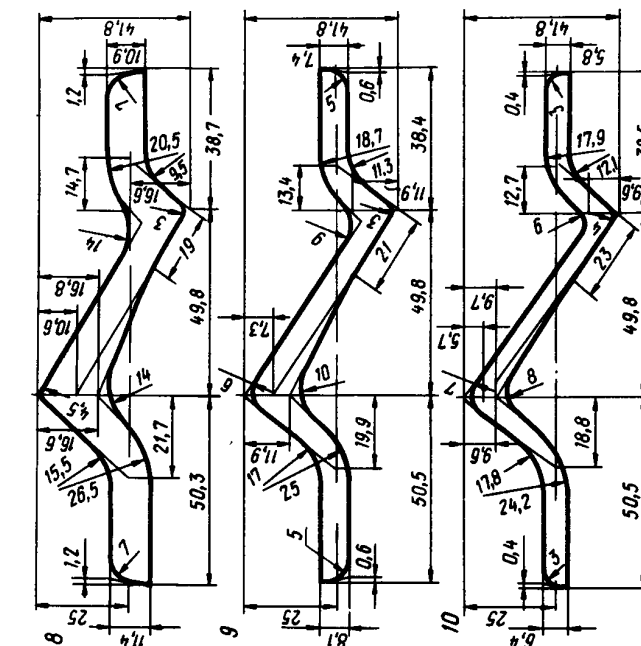
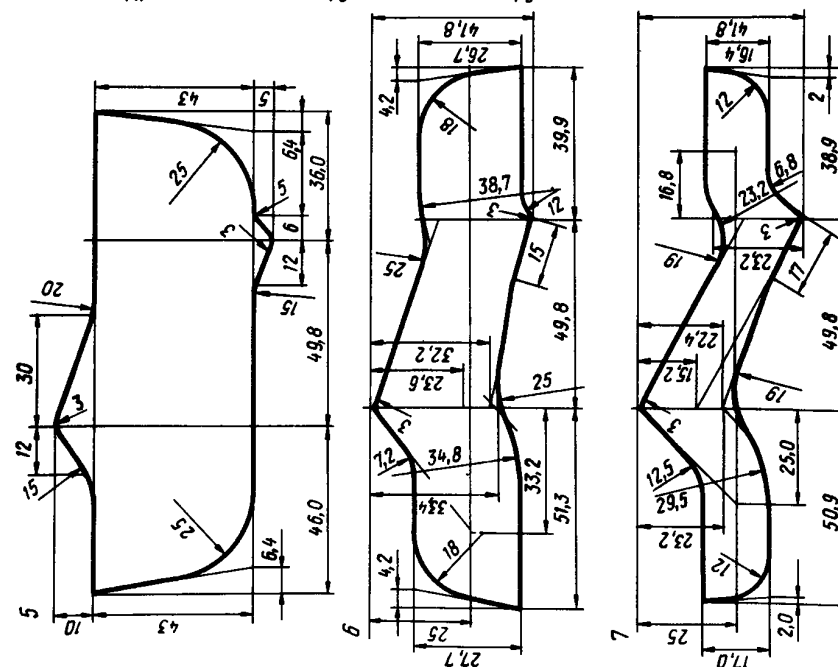


Рис. 86. Размеры калибров 5 — 10 для прокатки профиля бортового кольца колеса автомобиля ГАЗ-66



Уменьшение  $\Delta\gamma$  углов раскрытия полки и бортовой части по проходам против хода прокатки принимают равным уменьшению  $\Delta\beta$  угла наклона полотна  $\beta$ :  $\Delta\gamma = \Delta\beta$ ; в условном чистовом калибре  $\beta = 36^\circ 30'$ , а  $\gamma = 90^\circ - \beta = 53^\circ 30'$ .

При расчете предчистового калибра, а также и последующих калибров по формулам (31) — (35) используют данные табл. 5 и рис. 66.

Вначале в предчистовом калибре определяют толщину  $h_1$  полотна по вертикали из формулы (31)

$$h_1 = \frac{-2 \cdot 41,8 + \sqrt{41,8^2 + (49,8^2/4,6^2 - 1)(41,8^2 + 49,8^2)}}{(49,8^2/4,6^2 - 1)} = 5,7 \text{ мм.}$$

Угол наклона полотна в соответствии с формулой (32)  $\beta = \arctg [49,8/(41,8 - 5,7)] = 36^\circ$ .

Угол раскрытия бортовой части и полки  $\gamma = 53^\circ 30' - (36^\circ 30' - \beta) = 53^\circ$ .

Толщина наклонного элемента бортовой части по вертикали из формулы (32)  $h_3 = 5,8/\cos 53^\circ = 9,6 \text{ мм.}$

Длина средней линии полотна  $L_1$  из формулы (33)  $L_1 = 49,8/\cos 36^\circ - (9,6 - 5,7)/[(\tg 36^\circ + \tg 53^\circ)\cos 36^\circ] = 59,2 \text{ мм.}$

Длина средней линии  $l_3$  бортовой части без горизонтального элемента шириной  $b_2$  определяют по формуле (34)  $l_3 = 0,01745 \cdot 21,0 \cdot 53 + [25,0 - 0,5 \cdot 9,6 - 21,0(1 - \cos 53^\circ)]/53^\circ + 0,5(9,6 - 5,7)/[(\tg 36^\circ + \tg 53^\circ)\cos 53^\circ] = 35,9 \text{ мм.}$

Ордината  $b_3$  центра радиуса  $R_1$  из формулы (35) равна  $b_3 = 21,0 \tg 53^\circ/2 + (25,0 - 0,5 \cdot 9,6) \tg (90^\circ - 53^\circ) = 25,7 \text{ мм.}$

Аналогично рассчитывают полки.

Уширение для полки и бортовой части определяют по формуле (1) для минимально допустимого диаметра валков  $D_{\text{ср}} = 525 \text{ мм.}$

Распределение температуры по проходам принято следующее:  $t_{10} = 975^\circ\text{C}$ ,  $t_9 = 1000^\circ\text{C}$ ,  $t_8 = 1025^\circ\text{C}$ ,  $t_7 = 1050^\circ\text{C}$ ,  $t_6 = 1075^\circ\text{C}$ ,  $t_5 = 1100^\circ\text{C}$ .

В калибрах 7 — 10 уширение принимают равным 0,8 от свободного, в калибре 6 — 0,6 от свободного; для калибра 5, где происходит первоначальное формирование профиля, рассчитывают только толщину отдельных элементов профиля и общую ширину.

Радиусы закруглений выбирают конструктивно. Нейтральные линии калибров проведены через их центры тяжести. Учитывая условия изгиба бортовой части и полки в чистовом калибре разъемы валков с обеих сторон калибров выполняют для каждого калибра в одну сторону.

Размеры фасонных калибров 5 — 10 представлены на рис. 86. При первой опытной прокатке профиль бортового кольца получен в соответствии с техническими условиями. Прокатано 23 т готового профиля. Брак при настройке составил 0,3 т. При прокатке наблюдали переполнение на концах бортовой части и полки в калибре 7 и на конце полки в калибре 8.

## Глава 7. ПРОФИЛИ ЗАМОЧНЫХ КОЛЕЦ КОЛЕС АВТОМОБИЛЕЙ

### СОРТАМЕНТ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Профили замочных колец (рис. 87) имеют, как правило, сложную форму и являются составными элементами трехкомпонентных или четырехкомпонентных (см. рис. 1) ободов колес автомобилей. Все профили замочных колец можно разделить на три основных типа.

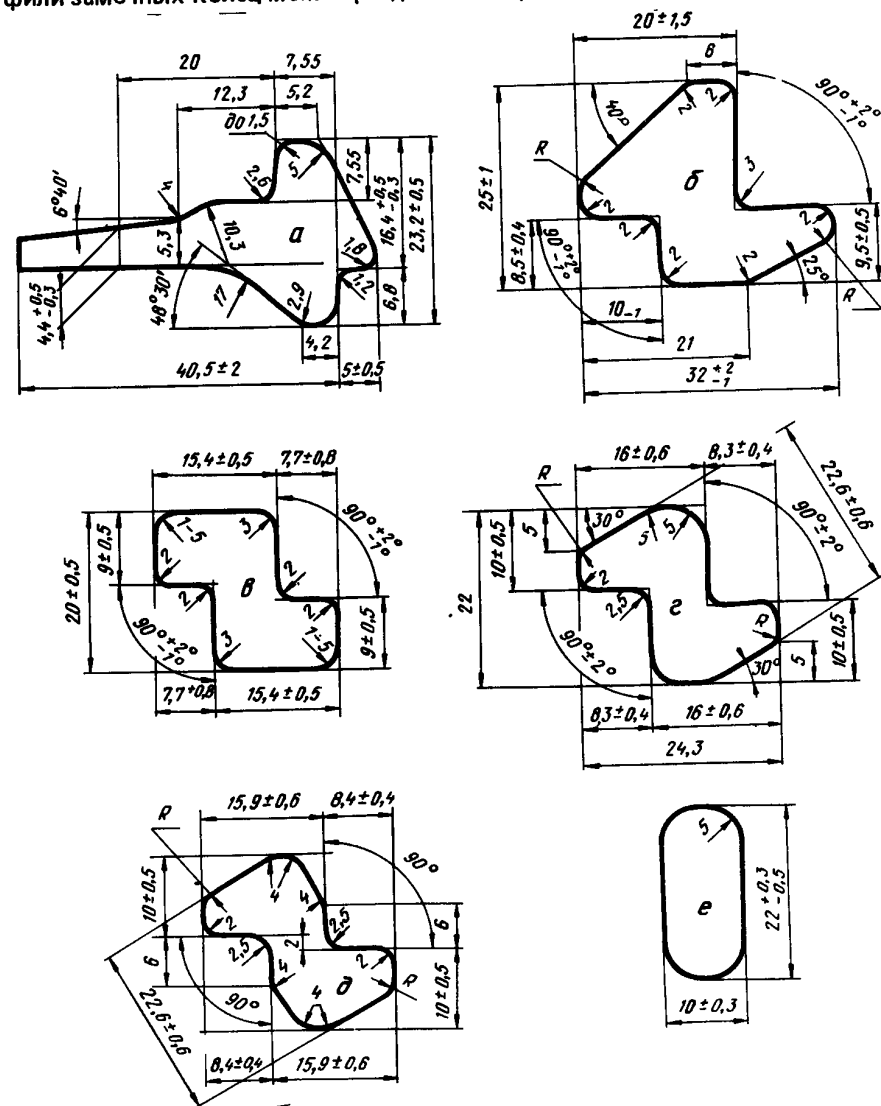


Рис. 87. Профили замочных колец.

а — автомобиля КамАЗ; б — 13.00-26; в — 440-533; г — PR254-031; е — 6.00T-20

Профили первого типа (рис. 87, а) относят [2] к группе профилей, состоящих из полотна с утолщением с одной стороны. Утолщения могут иметь различную и при том довольно сложную форму.

Представленные на рис. 87, б — д профили замочных колец второго типа представляют собой асимметричные профили с отношением ширины к высоте, примерно равном единице. Характерным для группы данных профилей является наличие выступов и впадин сравнительно небольших размеров относительно общей высоты.

Профили замочных колец третьего типа в виде плоского овала прокатывают размерами 22X10 (рис. 87, е) и 18X8 мм. Прокатка этих профилей трудностей не представляет и ее ведут по схеме: квадрат — гладкая бочка — ребровой калибр — гладкая бочка. Предназначены замочные кольца 22X10 и 18X8 мм для колес старой конструкции и их ежегодное производство не превышает 1000 т.

Профили замочных колец прокатывают обычно из стали 45. Наиболее жесткие требования по размерам предъявляются к тем участкам профилей, которые при сборке колеса находятся в сопряжении с основанием обода и с профилями бортовых или посадочных колец. Кривизна полос в состоянии поставки по ребру и по плоскости обычно не должна превышать 4 мм на 1 м длины. Скручивание полос допускают не более 3° на 1 м длины.

Профили замочных колец (рис. 87, а — д) имеют сложную, несимметричную форму и их прокатка сопряжена со значительными трудностями. Особенности затруднения возникают из-за скручивания полос при прокатке и их искривления при остывании на холодильнике. Поэтому в тех случаях, когда это позволяет форма профиля (рис. 87, а), применяют прокатку в сдвоенном виде, что значительно упрощает разработку калибровки и технологии, так как в этом случае прокатывают профиль, симметричный относительно вертикальной оси. Однако при прокатке профиля в сдвоенном виде необходима его продольная разрезка на дисковых ножницах, которую выполняют на заводах-потребителях. Она требует дополнительных затрат времени и денежных средств.

Профили замочных колец по своим размерам относят к сортаменту мелкосортных станков, диаметр валков которых составляет 250 — 300 мм. Обычно эти профили прокатывают на станах линейного типа, хотя есть уже положительный опыт прокатки профилей замочных колец на непрерывных станах.

#### ПРОКАТКА И КАЛИБРОВКА ПРОФИЛЕЙ ЗАМОЧНЫХ КОЛЕЦ Т-ОБРАЗНОЙ ФОРМЫ

Профиль замочного кольца Т-образной формы (см. рис. 87, а) имеет тонкое полотно (левая часть профиля) и массивную замочную часть. Форма и размеры профиля допускают его прокатку в сдвоенном виде. При этом сдваивание профиля осуществляется его тонкими частями. В результате получается симметричный относительно вертикальной оси профиль с утолщениями по краям, что значительно улучшает условия прокатки, так как устраняется скручивание и изгиб полос. При сдваивании профили можно располагать под углом или же горизонтально.

Прокатка профиля замочного кольца 8,5В-026-А5 (рис. 88, а) в сдвоенном виде освоена на 15-клетевом непрерывном стане 300 [95] с приводами клеток от индивидуальных электродвигателей, допускающих регулирование числа оборотов в широких пределах. Черновая группа

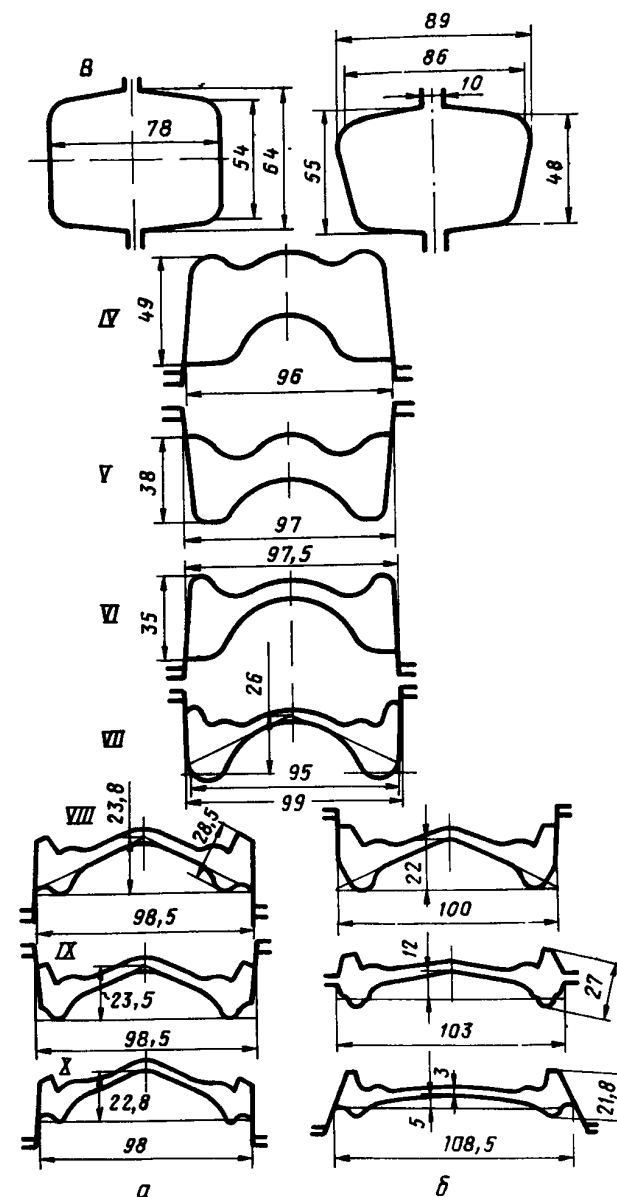


Рис. 88. Схема прокатки профиля замочного кольца 8,5В-026-А5 по первоначальному (а) и усовершенствованному (б) вариантам (IV — X — клетки)

стана включает семь и чистовая — восемь клетей. Максимальная скорость прокатки составляет 12 м/с.

Для нагрева заготовки используют методическую печь с боковой загрузкой и выдачей заготовки. За нагревательной печью установлены ножницы для резки заготовки на части. Между черновой и чистовой группами помещают летучие ножницы качающегося типа для обрезки концов и аварийной резки полос. Летучие барабанные ножницы для резки полос установлены за чистовой группой стана. Для резки готового профиля на мерные длины за холодильником смонтированы два агрегата холодной резки с упорами и переключателями устройствами.

На рис. 88, а профили сдвоены под углом  $168^\circ$ . Однако при освоении этот угол был уменьшен до  $130^\circ$ , так как приемная часть холодильника рассчитана на транспортирование проката шириной не более 100 мм. В месте разрезки сдвоенного профиля предусмотрена продольная канавка.

При разработке калибровки профиля замочного кольца в сдвоенном виде исходили из принятой для стана 300 унифицированной квадратной заготовки сечением  $104 \times 104$  мм. В чистовой группе клетки с вертикальными валками не используют.

Для выбранной схемы прокатки общий коэффициент вытяжки составляет 15,6, а средний по клетям — 1,25. Режим обжатий средней части (полотна) сдвоенного профиля принят на основании опыта работы стана 300 следующий:

| Клеть                  | B    | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Коэффициент обжатия    | —    | 1,75 | 1,73 | 1,95 | 1,62 | 1,45 | 1,41 | 1,28 |
| Толщина полотна, мм    | 62,0 | 35,5 | 20,5 | 10,5 | 6,5  | 4,5  | 3,2  | 2,5  |
| Абсолютное обжатие, мм | —    | 26,5 | 15,5 | 10,0 | 4,0  | 2,0  | 1,3  | 0,7  |

В соответствии со схемой, режимом обжатий средней части профиля и средним уширением, равным 20 % от величины абсолютного обжатия для всех фасонных калибров, исходная прямоугольная полоса, задаваемая в вертикальную клеть B (рис. 88), имеет размеры  $62 \times 86$  мм. При этом общий коэффициент вытяжки в фасонных калибрах равен 8,26, а средний коэффициент вытяжки в каждом фасонном калибре составляет 1,34.

При расчете калибровки было принято равенство коэффициентов обжатия и вытяжки по элементам профиля в первых пяти калибрах по ходу расчета. При сдваивании профилей под углом  $130^\circ$  друг к другу выпуск боковой грани замочной части составляет 4,5 %, что вполне достаточно для свободного выхода полосы из валков и восстановления калибров при переточках.

При разработке калибровки основные размеры предчистового калибра определяли на основании принятых коэффициентов деформации по размерам чистового калибра. После расчета основных размеров предчистового калибра остальные размеры принимали конструктивно, соблюдая

принцип равенства коэффициентов вытяжки отдельных элементов (полотна и замочной части) профиля. Аналогично вели расчет и последующих фасонных калибров.

Размеры фасонных калибров клетей IV и V определяли по размерам калибров клетей B и VI. Заполнение разрезного калибра клетей IV проверяли на основании метода средних коэффициентов вытяжки.

Для лучшего заполнения в чистовом калибре была увеличена на 1 — 5 мм по сравнению с расчетной высота замочной части профиля в фасонных калибрах клетей IV — X. С этой же целью в калибрах клетей IX и X после их расчета перераспределили коэффициенты вытяжки по элементам профиля, что предотвратило утяжку замочной части профиля. Кроме того среднюю ширину калибров клетей VIII — X приняли примерно одинаковой, что позволило за счет стеснения уширения компенсировать утяжку замочной части.

Положение нейтральных линий фасонных калибров определяли аналитически на основании равенства средних окружных скоростей по контурам со стороны нижнего и верхнего валков.

При опытной прокатке было получено хорошее совпадение расчетных данных с фактическими. Некоторое равномерное по высоте и конфигурации несовпадение в первых по ходу прокатки фасонных калибрах принято при настройке стана во избежание поломки валков, так как перед клетью VI из-за пауз при резке на делительных ножницах происходит охлаждение передних концов полос. При корректировке калибровки после освоения профиля уменьшили высоту полосы в клетях IV и V на 5 мм и увеличили высоту полосы в клетях VI на 4,5 мм. Соответственно изменили режим обжатий в клетях VII — X.

При опытной прокатке испытывали закрытую и полузакрытую конструкции предчистового калибра. Было установлено, что применение полузакрытого предчистового калибра связано с трудностями при установке валковой арматуры, настройке стана и иногда приводит к переполнению (образованию лампасов). Однако при этом обеспечивается более надежный контроль высоты выступов замочной части и поэтому в дальнейшем при совершенствовании калибровки был использован полузакрытый калибр.

При освоении профиля прокатана опытная партия массой 25 т. Прокатку вели без автоматического регулирования натяжения полосы между клетями. В качестве вводной валковой арматуры использовали коробки с гладкими пропускными, ограничивающими положение прокатываемой полосы лишь по ее ширине.

В дальнейшем в процессе промышленной прокатки профиля замочного кольца 8.5B-026-A5, несмотря на корректировку размеров фасонных калибров, были выявлены [96] существенные недостатки технологии и калибровки.

Во-первых, после резки полос в холодном состоянии на ножницах происходил их изгиб в вертикальной плоскости. В результате концы полосы опускались на плитный настил рольганга. Чтобы обеспечить нормальный процесс транспортирования полос по рольгангу, приходилось

вручную контовать каждую полосу на  $90^\circ$ , что, естественно, резко снижало производительность стана и требовало затрат физического труда.

Проведенные исследования показали, что причиной изгиба являются остаточные термические напряжения. Так как толщина отдельных элементов профиля различна, то при остывании на холодильнике происходит неравномерное охлаждение профиля. Быстрее охлаждается и при этом сокращается по длине элемент полотна профиля. При этом более массивные элементы замочной части, имеющие повышенную температуру, претерпевают пластическую деформацию. Когда же происходит остывание массивных замочных частей с одновременным уменьшением их длины, то остывшее тонкое полотно не может пластически деформировать и по сечению и длине профиля возникают термические напряжения противоположных знаков. Так как в сдвоенном профиле замочного кольца тонкие (полотно) и толстые (замочная часть) элементы профиля расположены в разных плоскостях по вертикали, то вследствие внутренних напряжений происходит изгиб полосы после охлаждения. При этом при достаточно большой длине полос напряжения уравниваются массой полосы. Изгиб же полосы происходит после их резки на ножницах.

Другим недостатком калибровки было незаполнение верхнего выступа замочной части. Кроме того, в месте разъема калибров клетки VIII и чистой клетки X наблюдали частое выкрашивание кромок нижнего вала и оковывание валков в клетях VIII — X.

При совершенствовании калибровки профиля замочного кольца, не изменяя формы и размеров готового профиля, увеличили угол сопряжения профилей и расположили тонкие и толстые элементы в одной плоскости (рис. 88, б). Напряжения при этом остаются такими же, но вследствие того, что полотно и замочная часть профиля находятся в одной горизонтальной плоскости, изгиба полос после резки на ножницах не происходит.

В новой калибровке оставлены без изменения форма и размеры калибров клеток IV — VII. При увеличении угла сопряжения профилей при их сдваивании существенно улучшилось заполнение выступа замочной части в калибре клетки VIII, что обеспечило устойчивое выполнение этих участков на готовом профиле. Прекратилось выкрашивание валков. Оказалось возможным увеличить обжатие в клетях VIII и, таким образом, разгрузить последующие клетки. Предчистойой калибр был запроектирован полузакрытого типа. В калибре клетки VIII изменили направление разъема на обратное. При новой калибровке оказалось возможным уменьшить исходный диаметр валков клеток VIII — X. В связи с уменьшением разности катающих диаметров по ширине калибров сократился расход энергии и прокатных валков. Прекратилось оковывание валков.

Усовершенствование калибровки профиля замочного кольца позволило увеличить производительность стана более чем в два [96].

Прокатка в сдвоенном виде профилей замочных колец Т-образной формы позволяет перейти от прокатки несимметричного профиля к прокатке симметричного, что устраняет изгиб и скручивание полос.

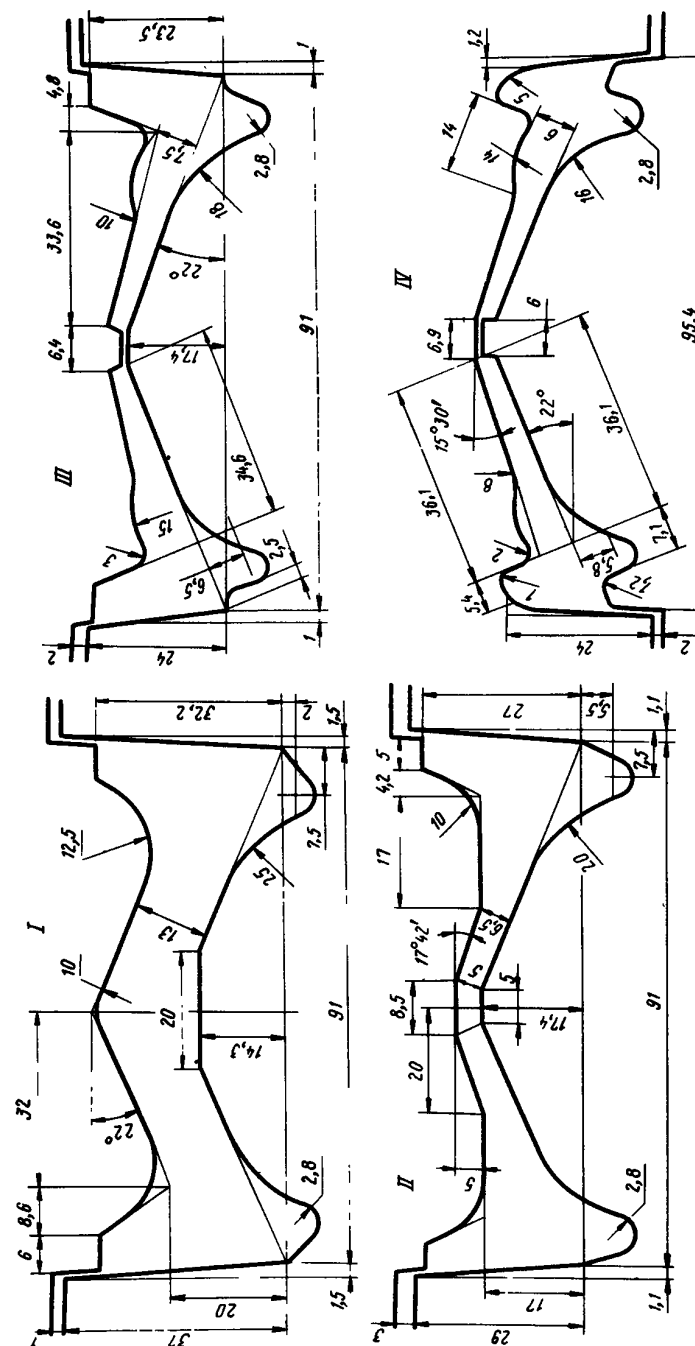


Рис. 89. Размеры калибров для прокатки подката на непрерывном стане 300 профиля замочного кольца в сдвоенном виде (I — IV — клетки)

Однако при разделении профилей после прокатки требуются дополнительные затраты времени и средств не только на разделение профилей, но и удаление образующихся на боковых кромках профилей заусенцев и острых углов. Те же результаты получаются и при разделении профилей в процессе горячей прокатки. Стремление свести к минимуму величину заусенцев ужесточает требования к точности изготовления калибров и, как следствие, приводит к ускоренному их износу. К тому же, достигнуть полного устранения заусенцев практически не представляется возможным [40]. Из-за указанных недостатков все известные способы прокатки профилей в сдвоенном виде пока не получили широкого применения на практике.

Приведенная схема прокатки двоянного профиля замочного кольца характерна тем, что для получения заданной формы боковых кромок полотна профилей после их разделения в процессе холодной прокатки и исключения образования заусенцев, соединительную перемычку перед разрушением смещают в плоскости калибра с образованием закатов в плоскостях стыка перемычки с профилями и одновременным формированием углов профиля. При прокатке на стане 300 соединительную перемычку окончательно формируют в клети III. В клети IV в начале процесса обжатия утоненная перемычка смещается снизу вверх за счет давления выступа нижнего вала. При этом на фасонном подкате образуются продольные закаты и формируются закругления нижних кромок полотна.

В то же время на непрерывном стане 300 освоена прокатка горячекатаного подката профиля замочного кольца для автомобиля КамАЗ (см. рис. 87, а) в одинарном виде, первоначальное освоение которого производили на линейном стане 280. Обжимная линия стана 280 состоит из трехвалковой и двухвалковой клетей, а чистовая — из семи трехвалковых клетей, которые используют как двухвалковые клетки. Прокатывали из заготовки сечением 62 X 62 и длиной 2500 — 2700 мм. Схемой прокатки предусмотрено 10 проходов, из которых пять — в клетях обжимной

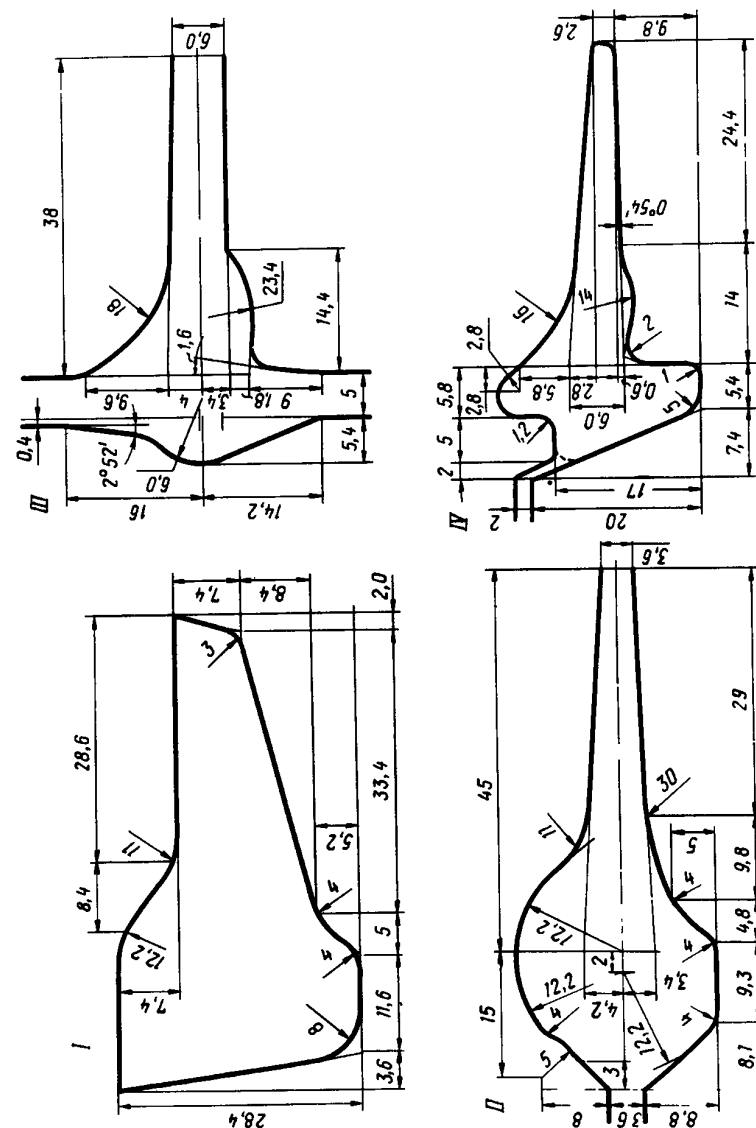


Рис. 90. Размеры калибров для прокатки на непрерывном стане 300 подката профиля замочного кольца (I — IV — клетки)

линии стана. Передачу раската таврового сечения из клетки / чистовой линии в клетку IV осуществляют по обводному аппарату, а задачу полос в клетки V, VI и VII — вручную.

В результате неоднократного освоения получен профиль требуемой конфигурации. В то же время не удалось выполнить требований технических условий по ребровой кривизне, смятию концов и косине реза, которые имеют существенное значение для обеспечения нормальной технологии при последующей холодной прокатке.

При длине полос 18 м на холодильнике их общая ребровая кривизна в результате термических напряжений после охлаждения доходила до 1500 мм, в то время как по техническим условиям кривизна не должна превышать 5 мм на 1 м длины.

Повышенная ребровая кривизна приводила к затруднениям при транспортировании полос по рольгангу к участку резки и являлась причиной косины реза при раскросе на мерные длины. Применение при резке на ножницах гладких ножей происходило смятие концов. Косина реза доходила до 10 мм, а длина смятых концов 35 мм (по техническим условиям косина реза и смятие концов не допускаются).

Так как прокатка на линейном стане 280 горячекатаного подката профиля замочного кольца не дала положительных результатов, то освоение его было передано на четырехклетевой непрерывный стан 300. В качестве исходной заготовки была использована круглая сталь диаметром 36 мм; температура нагрева в индукционных нагревателях составляла 1180 — 1200°C.

Особенностью разработанной калибровки (рис. 90) является получение подката за четыре пропуска. При этом в первых двух клетках за счет интенсивного формоизменения осуществляется значительное вынужденное уширение и формирование полотна и замочной части профиля. В ребровом калибре клетки III производится контроль ширины и формирование выступа замочной части за счет вынужденного уширения. С целью предотвращения защемления полотна в ребровом калибре клетки III дно ручья вала этого калибра на 2,4 мм шире соответствующего размера полотна профиля, поступающего из клетки II. Коэффициенты вытяжки по ходу прокатки равны соответственно: 1,3; 1,38; 1,26 и 1,19; общий коэффициент вытяжки составляет 2,71. Так как длина речного холодильника 9,0 м, то длина прокатываемых полос не должна превышать 8,0 м.

После охлаждения на холодильнике полосы горячекатаного подката профили замочного кольца проходят травление в 5 — 20 %-ном растворе серной кислоты при 80 — 90°C и затем их промывают последовательно горячей и холодной водой с последующей нейтрализацией поверхности полос в содовом растворе.

Холодную прокатку осуществляют за два прохода: первый, ребровой, — на одноклетевом стане 250, второй, пластовой, — на одноклетевом стане 300. При холодной прокатке в качестве смазки используют 13 %-ный эмульсол. Общий коэффициент вытяжки равен 1,13.

Для уменьшения расхода металла, улучшения захвата и предотвращения выкрашивания калибров при холодной прокатке не обрезают концы полос после горячей прокатки.

В процессе освоения производства профиль замочного кольца получен в соответствии с техническими условиями. Анализ формы и размеров темплетов при прокатке на непрерывном стане 300 показал, что заполнение калибров вполне удовлетворительное, переполнения калибров не происходит, форма и размеры горячекатаного подката соответствуют техническим условиям. На основании результатов опытной прокатки в калибре клетки IV стана 300 увеличена на 0,4 мм толщина замочной части. Это изменение обеспечивает полную переработку наклонного участка замочной части при последующей холодной прокатке. Кроме того, для повышения стойкости и жесткости проводки увеличена ширина закрытого ручья клетки III с 3,6 до 6 мм и соответственно увеличена почти в два раза ширина рабочего конца проводки.

В процессе прокатки были проведены исследования. Контрольные горячекатаные полосы имели ширину в пределах 46,3 — 48,8 мм; у основной массы полос ширина составила 47 — 48 мм. Высота замочной части колебалась в пределах 23,3 — 23,6 мм. После холодной прокатки высота замочной части находилась в пределах 21,8 — 22,1 мм; а для большей части полос она составила 22,0 — 22,1 мм.

Продольная разнотолщинность по замочной части на горячекатаных раскатах составила 0,6 мм, на готовом профиле она равна 0,2 мм, а разнотолщинность по длине полосы не превысила 1,9 мм.

Горячекатаная сталь имела серповидность в сторону замочной части, кривизна отдельных полос составила 2 — 5 мм на 1 м длины; общая кривизна после холодной прокатки не превышала 2 — 4 мм.

Наблюдения за поведением горячекатаного подката при охлаждении полос на речном холодильнике стана 300 позволили выявить следующие особенности охлаждения. С момента выхода из стана и до полного охлаждения направление изгиба охлаждаемого раската изменяется пять раз: дважды полоса изгибается в сторону полотна профиля и трижды — в сторону замочной части. При этом в процессе остывания раскат постепенно поворачивается вокруг продольной оси на 360°. Окончательно полосы длиной 7 — 8 м имеют кривизну в сторону замочной части от 2 до 5 мм на 1 м длины.

#### ПРОКАТКА И КАЛИБРОВКА ПРОФИЛЕЙ ЗАМОЧНЫХ КОЛЕЦ Z-ОБРАЗНОЙ ФОРМЫ

Профиль замочного кольца 13.00-26 (см. рис. 87, б) из стали 45 для колеса автомобиля БелАЗ-640 имеет сложную Z-образную форму со скошенными углами. Масса профиля на 1 м длины равна 3,24 кг. Отсутствие симметрии и сложность формы приводят к существенным трудностям при калибровке и прокатке этого профиля. По первоначальному варианту калибровки (рис. 91) профиль формировался в четырех фасонных калибрах [97]. Исходная полоса, задаваемая в первый фасонный калибр, имела квадратное сечение 26 X 27 мм с вогнутыми боковыми

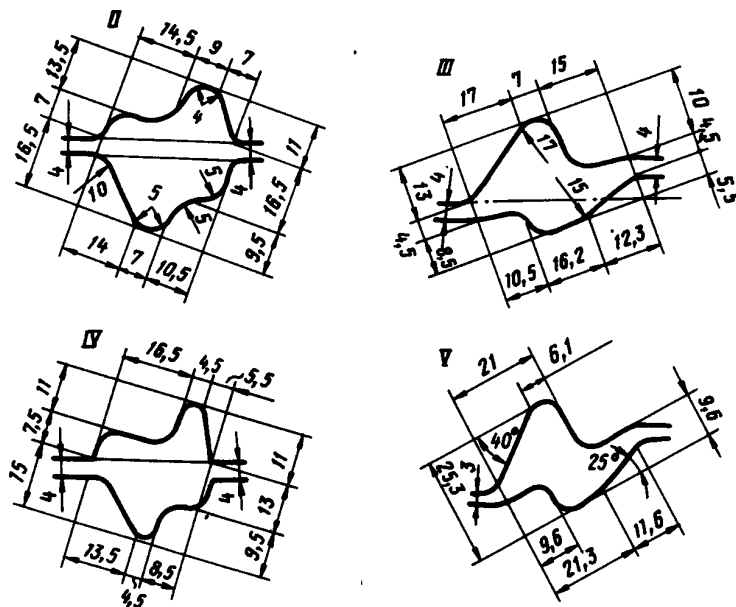


Рис. 91. Размеры шаблонов калибров для прокатки профиля замочного кольца 13.00-26 на линейном стане 250 (II – V – клетки)

гранями. Наиболее значительную степень неравномерности деформации наблюдали в первом фасонном калибре. В калибрах клеток III, IV и V деформация по элементам профиля была более равномерна. В калибре клетки III для получения необходимой ширины полок предусматривали вынужденное уширение. Ширину полок контролировали в клетке IV.

В чистовой клетке разъем калибров был выполнен в двух вариантах (рис. 92): с ограниченным а и со свободным б уширением концов полок. При этом в первом случае при ограниченном уширении обеспечивается надежный контроль ширины полок, но в то же время появляется опасность образования переполнения, что приводит к искажению формы готового профиля. Контролируемый угол между гранями в чистовом калибре для использования минусового допуска принят равным  $89^{\circ}30'$ . При освоении профиля лучшие результаты получены при прокатке в

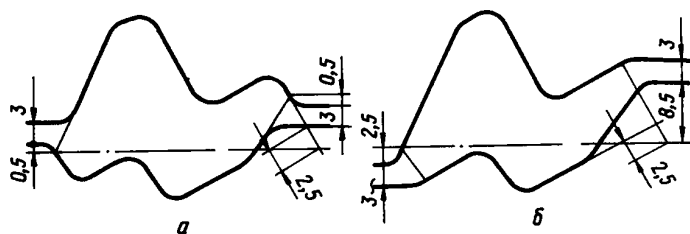


Рис. 92. Схемы разъемов калибра чистовой клетки:  
а – с ограниченным уширением полок; б – со свободным уширением

чистовом калибре со свободным уширением. При ограниченном уширении переполнение калибра устранить не удастся, готовый профиль не соответствует техническим условиям и от этой конструкции калибра пришлось отказаться.

Если при разработке калибровки форма калибров клеток II и IV казалась наиболее рациональной, так как она обеспечивает получение готового профиля в пределах заданных отклонений, то при опытной прокатке выяснилось, что в этих калибрах неизбежно переполнение. В дальнейшем при корректировке калибровки было предусмотрено увеличение углов наклона боковых граней калибров клеток II и IV. Однако переполнение в клетке II устранить так и не удалось и на готовом профиле наблюдали закат или (при незаполнении калибра клетки II) оставались необжатыми (непроработанными) участки поверхности. Наибольшие трудности при освоении возникли в связи со скручиванием готового профиля по часовой стрелке на выходе из чистовой клетки. Причиной этого является неуравновешенность сил, действующих на левую и правую части поперечного сечения. Если при принятом расположении чистового калибра в валках (рис. 92, б) разделить поперечное сечение профиля на две равные по площади части и определить катающие диаметры для этих частей, то оказывается, что в левой части получается нижнее давление, а в правой – верхнее. В связи с этим необходимо проверять средние катающие диаметры с разбивкой сечения на две части при расположении чистового калибра (а также и других фасонных калибров) в валках. В противном случае, как это подтверждается опытом, скручивание полос неизбежно.

Для устранения при освоении профиля скручивания использовали перекося валков в горизонтальной и вертикальной плоскости. При этом скручивание уменьшилось в какой-то степени, но полностью устранить его так и не удалось.

По первому варианту калибровки (см. рис. 91) углы между гранями полок в фасонных калибрах, равные  $90^{\circ}$  на готовом профиле, постепенно увеличивались против хода прокатки. При освоении профиля было выявлено, что такая конструкция фасонных калибров не обеспечивает точного выполнения этих углов (особенно угла между гранью короткой полки и перпендикулярной к ней гранью) на готовом профиле. Поэтому следует черновые калибры (в первую очередь калибры клеток III и IV) проектировать таким образом, чтобы углы между гранями полок возможно меньше отличались от  $90^{\circ}$ . Такая конструкция калибров, кроме выполнения углов, обеспечивает хорошие условия деформации граней полок по всей их поверхности.

На основании проведенных наблюдений и анализа результатов освоения была изменена схема прокатки и откорректирована калибровка профиля замочного кольца 13.00-26 (рис. 93).

Для уменьшения степени неравномерности квадратный калибр с вогнутыми гранями клетки I был заменен на фасонный калибр. Соответственно изменена и конструкция калибра клетки II черновой линии. Такое увеличение количества фасонных калибров не усложняет процесс прокатки,

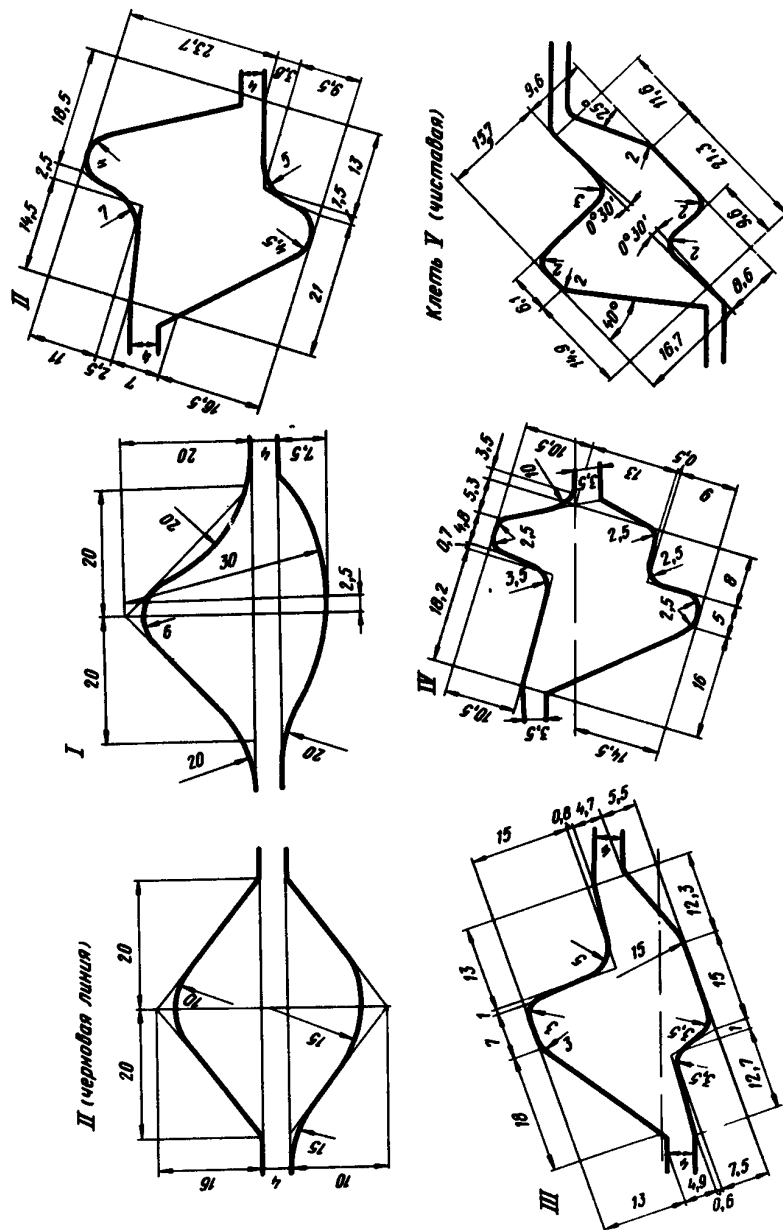


Рис. 93. Усовершенствованный вариант калибровки профиля замочного кольца 13.00-26

так как форма этих калибров и их износостойкость мало отличаются от обычных сортовых ромбических или квадратных калибров. Замена квадратного калибра клетки I на фасонный и изменение системы разъемов в калибрах клеток II и IV обеспечили устойчивое положение полосы в клетке II и отсутствие каких-либо дефектов на полосе (в том числе и перепополнения) при прокатке в клетке II. Система разъемов в клетках II и IV была спроектирована таким образом, что разъемы этих калибров вынесены за пределы очага деформации. Уменьшение углов между гранями полок в клетках III и IV значительно улучшило процесс формирования полок. В калибре чистовой клетки, который выполнен со свободным уширением полок, увеличили угол наклона калибра, что практически полностью устранило скручивание полос.

Спецпрофиль замочного кольца колеса 440-533 для автомобиля КраЗ (см. рис. 87, а) поставляют из стали 45; масса на 1 м длины равна 2,248 кг; на готовом профиле ребровая кривизна не должна превышать 3 мм на 1 м длины, кривизна плоскости — 10 мм на 1 м длины; скручивание прутков не более 2° на 1 м длины. На готовом профиле в местах радиусов 1 — 5 мм допускают заусенец в пределах допуска на размер 9 мм. Это изменение было внесено и согласовано с потребителем в процессе освоения профиля.

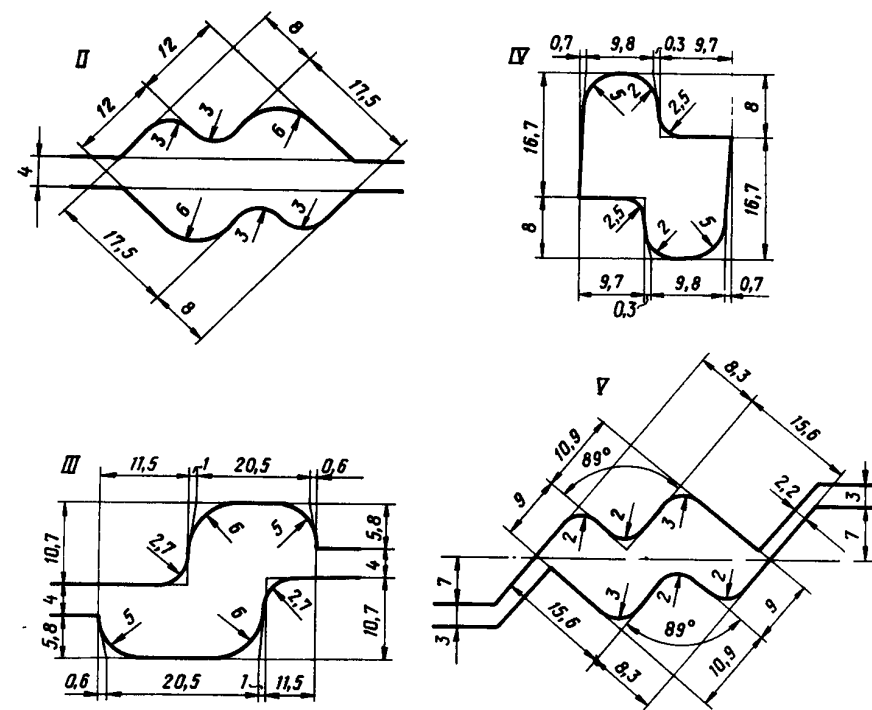


Рис. 94. Размеры калибров клеток // — V для прокатки профиля замочного кольца колеса 440-533 (I — V — клетки)

Разработанная на заводе калибровка (рис. 94) предусматривает формирование профиля замочного кольца в четырех фасонных калибрах чистовой линии стана 250 из раската сечением 24X24 мм.

Для устранения скручивания полосы после выхода ее из клетки II необходимо было максимально уменьшить относительную разность коэффициентов деформации по элементам сечения. Это условие определило выбор наклонного расположения калибра, при котором коэффициенты деформации левой и правой сторон сечения в среднем практически равны и поэтому скручивания полосы при прокатке не наблюдается. В клетке III происходит формирование полок. Для предотвращения образования дефектов на концах полок предусмотрено свободное уширение полок; ширина полок контролируется в клетке IV.

При опытной прокатке были испытаны [98] три варианта разъема калибров в валках чистовой клетки (рис. 95).

Вариант I обеспечивал более качественную поверхность готового профиля в местах разъема калибра в связи с меньшим зазором между валками, но значительно затруднял настройку и прокатку из-за значительного скручивания полосы. При прокатке по вариантам II и III происходит переполнение калибров в пределах 0,1 — 0,2 мм, что объясняется различной степенью уширения полок, обусловленной непостоянством температуры по длине полосы.

Исходя из условий сборки колеса 440-533 автомобиля КраЗ окончательно был принят третий вариант расположения чистового калибра, при котором незначительное переполнение калибра на участке широкой грани полки не влияет на качество сборки, так как этот элемент не имеет контакта со смежными деталями. Калибр чистовой клетки для использования допуска на размер угла выполнен с острым углом между внутренними гранями полок. При работе на новых калибрах этот угол равен  $89^{\circ}30'$ , по мере износа калибров он увеличивается. К недостаткам калибровки следует отнести скручивание полосы в клетке IV.

При прокатке профиля замочного кольца колеса 440-533 (см. рис. 87, е) по окончательному варианту калибровки (см. рис. 94) наиболее вероятные дефекты готового профиля следующие: незаполнение торцов полок (размер  $7,7 \pm 0,8$ ); широкая полка (размер  $15,4 \pm 0,5$ ); незаполнение внутренней стенки полки (размер  $9 \pm 0,5$ ); отклонение размеров профиля по ширине (размер  $20 \pm 0,5$ ); закат от переполнения в клетке IV; переполнение в чистовой клетке V; невыполнение угла  $90^{\circ} \pm 2^{\circ}$ .

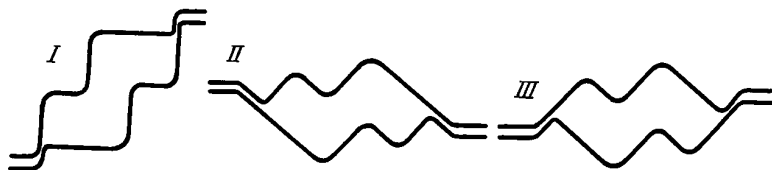


Рис. 95. Расположение калибров в валках чистовой клетки при прокатке профиля замочного кольца колеса 440-533 (I — III — клетки)

Незаполнение торцов полок может произойти по следующим причинам: а) если высота полосы в клетке IV ниже указанной в схеме; б) если не заполняются внутренние стенки полок в клетке IV.

В первом случае необходимо поднять верхний валок в клетке IV, во втором — сместить верхний валок клетки IV в сторону привода (влево) или увеличить толщину полосы в клетке III. Незаполнение одной из полок может быть вызвано также неправильным положением вводных коробок перед клетями II и III. Если ширина полок выше допускаемых отклонений, то следует опустить верхний валок при плюсовой толщине полок или сместить его вправо при минусовой толщине полок. Непроработка внутренних граней полок готового профиля вызывается прежде всего соответствующим незаполнением по толщине полок в клетке IV.

Отклонение размеров профиля по ширине регулируют положением верхнего валка. Для увеличения ширины профиля нужно сместить верхний валок вправо или поднять его с учетом толщины полок. Для устранения заката от переполнения калибра клетки IV нужно переместить верхний валок клетки III вправо, т.е. уменьшить ширину средней части полосы или уменьшить сечение в клетке II. При необходимости можно уменьшить сечение исходного квадрата. При этом следует учитывать, что в клетке III уширение полок свободное. При переполнении калибра в чистовой клетке V нужно уменьшить сечение полосы в клетке IV.

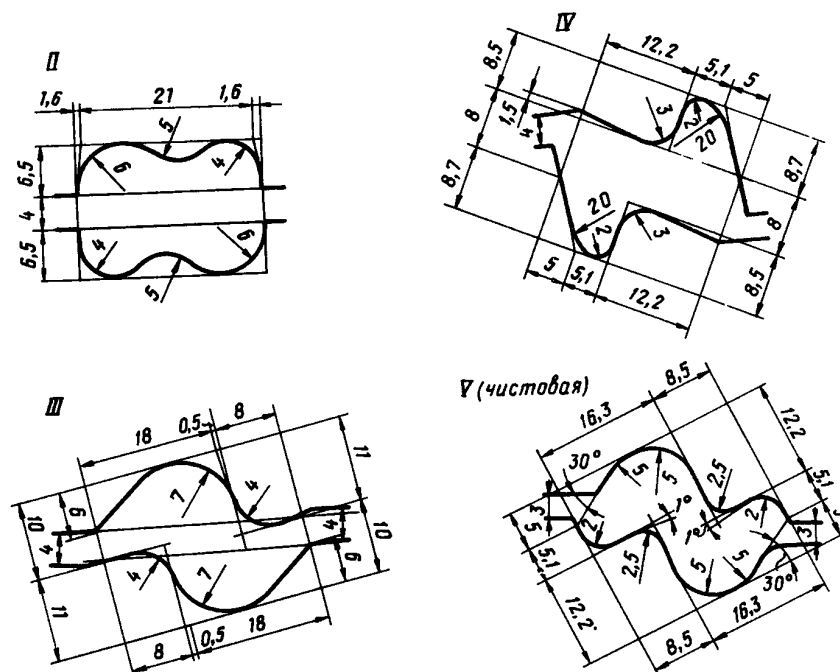


Рис. 96. Размеры калибров для прокатки профиля замочного кольца ПР254—031

Невыполнение угла  $90^\circ$  является наиболее серьезным дефектом и наблюдается при непроработке внутренних граней полок. Устранение этого дефекта было рассмотрено ранее.

С целью унификации профиля замочного кольца и максимально возможного уменьшения массы вместо профиля замочного кольца 440-533 был предложен унифицированный профиль замочного кольца ПР254-031 (см. рис. 87, з). В местах предполагаемого разъема калибра допускают произвольный радиус  $R$  или переполнение металла в пределах допуска на размер 22,6 мм. Теоретическую массу на 1 м длины принимают равной 2,2 кг.

Профиль замочного кольца ПР254-031 от применявшегося ранее профиля 440-533 отличается тем, что имеет скосы внешних граней. Остальные изменения незначительны. Для получения профиля замочного кольца ПР254-031 в связи с имевшимися скосами потребовалось [99] применение принципиально новой схемы прокатки (рис. 96). Кантовку полос после клетей II и IV ведут по часовой стрелке.

По принятой схеме прокатки формирование профиля замочного кольца ПР254-031 осуществляют в четырех фасонных калибрах из раската сечением 23X23 мм. В первом фасонном калибре намечаются общие контуры профиля с наиболее интенсивным обжатием в средней части сечения. В клетях III происходит свободное уширение полок, в клетях IV — контроль их ширины и в клетях V — окончательное формирование полок. Система

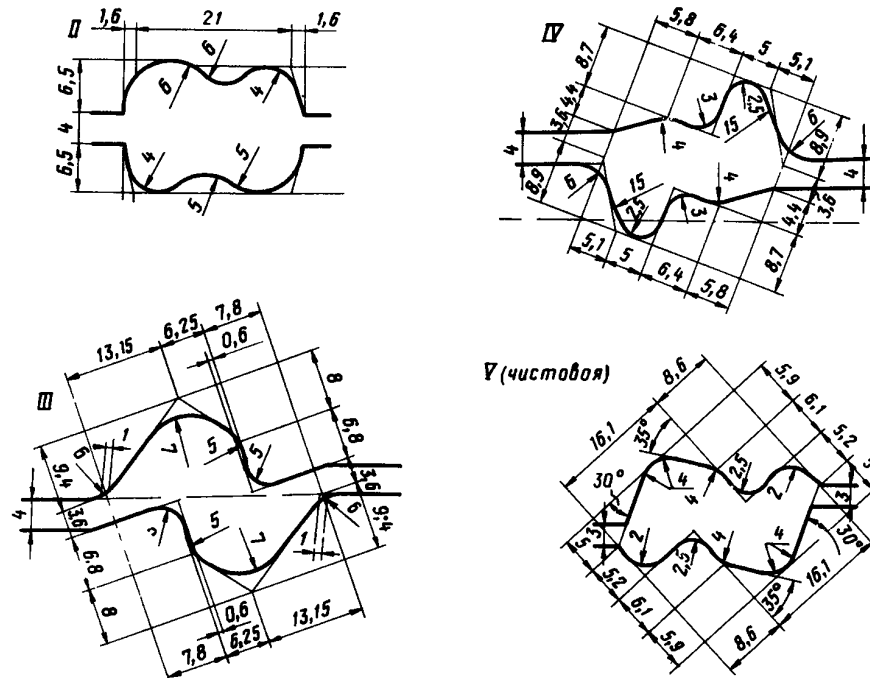


Рис. 97. Размеры калибров для прокатки профиля замочного кольца ПР254Г-031-01

разъемов калибров в клетях II, III и IV спроектирована таким образом, что углы разъемов вынесены за пределы очага деформации по его ширине. Поэтому полностью исключено образование дефектов по поверхности профиля.

Основные затруднения при прокатке определяются чистовым калибром, в котором из-за небольших допусков на ширину полок предусмотрено ограничение их уширения. В результате создаются условия для переполнения калибра на сравнительно широких участках поверхности профиля.

При освоении профиля наблюдалось скручивание раската в клетях IV и V. Чтобы уменьшить скручивание готового профиля, чистовой калибр по сравнению с профилем замочного кольца колеса 440-533 был повернут в направлении против часовой стрелки. В результате удалось полностью избавиться от скручивания в клетях V.

Впоследствии на стане 250 был освоен новый профиль замочного кольца ПР254Г-031-01 (см. рис. 87, д). Для нового профиля был введен еще один скос для каждой полки, уменьшающий сечение и обеспечивающий улучшение условий сборки колеса. При этом масса на 1 м длины уменьшилась с 2,2 до 2,08 кг. В месте предполагаемого разъема чистового калибра ( $R$  на рис. 87, д) допускается переполнение в пределах допуска на размер 22,6 мм.

Схема прокатки замочного кольца ПР254Г-031-01 (рис. 97) предусматривает формирование профиля в четырех фасонных калибрах; исходное сечение — квадрат 23X23 мм.

## Глава 8. ПРОФИЛИ ДЛЯ РЕССОР АВТОМОБИЛЕЙ

### ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ И СОРТАМЕНТ

На рис. 98 приведены основные типы профилей для рессор автомобилей: прямоугольный а, трапецевидный б, Т-образный в и трапецевидно-ступенчатый г. Наибольшее распространение получила прямоугольная рессора, хотя с каждым годом увеличивается и производство Т-образной и трапецевидной (с параболическими кромками) рессорных полос.

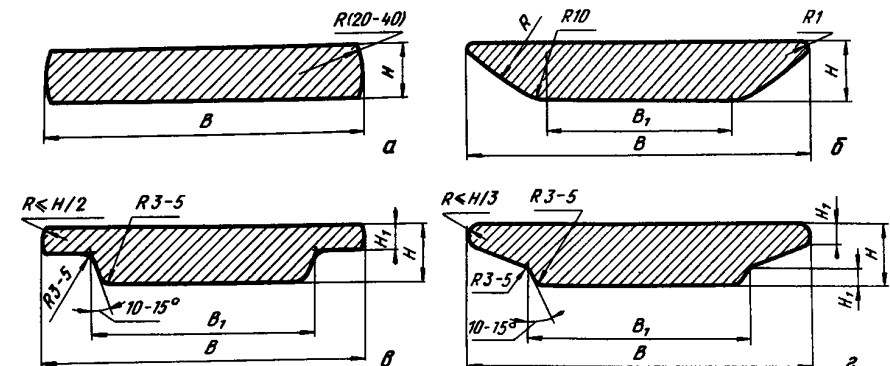


Рис. 98. Основные типы профилей для рессор автомобилей

По технологической классификации [2] Т-образные, трапециевидные и трапециевидно-ступенчатые рессорные профили входят в группу полосовых профилей с вертикальной осью симметрии. Характерной особенностью профилей этой группы является наличие центрального участка обычно прямоугольной формы и примыкающих к нему крайних участков в форме односторонних клиньев или прямоугольников, расположенных параллельно или под углом к центральному участку.

Рессорные профили для автомобилей изготавливают из кремнистых сталей 55С2, 55С2А, 60С2, 60С2А и хромомарганцовистых — 50ХГ и 50ХГА. Предусматривается производство 148 профилеразмеров прямоугольной, 24 — трапециевидной, 75 профилеразмеров Т-образной и 62 — трапециевидно-ступенчатой рессоры для автомобильной и других отраслей промышленности.

### ПРОКАТКА ТРАПЕЦИЕВИДНОЙ РЕССОРЫ

Профиль трапециевидной рессоры размерами  $B/B_1 \times H/2$  мм приведены на рис 98, б.

Освоение трапециевидной рессоры 45/25 × 6/2 мм для легковых автомобилей Горьковского автозавода впервые было произведено на линейном стане 325 [102]. Масса на 1 м длины рессоры 45/25 × 6/2 мм меньше по сравнению с прямоугольной на 5 — 10 %.

Особенностью прокатки трапециевидной рессоры 45/25 × 6/2 мм, как и других типоразмеров этого вида рессорных профилей, является трудность получения симметричного профиля с одинаковой толщиной правой и левой боковых кромок. Конфигурация трапециевидной рессоры не способствует устойчивости полосы и поэтому повышение устойчивости полосы в калибре должно осуществляться за счет режима распределения обжатий по ширине полосы.

При прокатке трапециевидной рессоры возможны два варианта распределения обжатий по ширине полосы: а) обжатие по кромкам полосы меньше, чем в центральной части; б) обжатие центральной части меньше, чем по кромкам.

При применении первого варианта режима обжатий обычно руководствуются следующими соображениями [102]: так как толщина кромки почти полностью формируется в предчистовом ребровом калибре, то и полоса в чистовом калибре, имея минимальное обжатие по кромкам, при поперечном смещении в калибре, получает незначительное приращение обжатия по одной из кромок и, следовательно, незначительное приращение уширения. Поэтому толщина кромки при смещении полосы в калибре не будет значительно изменяться.

При освоении на стане 325 калибровки с четырьмя фасонными калибрами из квадрата 28 × 28 мм и с минимальным обжатием кромок в чистовом калибре был выявлен ряд существенных недостатков данной схемы:

а) малая толщина кромок (тонкая кромка) в ребровом (предчистовом) и предшествующих ему по ходу прокатки калибрах;

б) незаполнение кромок полосы в предчистовом ребровом калибре при малейшей несимметричности кромок задаваемой полосы, что приводит к неустойчивой прокатке и требует постоянной настройки стана;

в) усложнение калибровки за счет сравнительно большого количества фасонных калибров;

г) серповидный изгиб полос при прокатке в чистовом калибре при незначительном поперечном смещении задаваемой полосы относительно валков из-за неравномерности обжатий по ширине полосы;

д) большое количество брака по несимметричности кромок, который составил более 25 %.

На основании результатов освоения была разработана и применена калибровка с интенсивным обжатием кромок полосы (рис. 99, а), сопровождающимся значительным вынужденным уширением кромок, что приводит к появлению значительных поперечных усилий, которые центрируют полосу в калибре, праяптывая ее смещению в поперечном направлении. При этом исключается брак по разнотолщинности кромок и увеличивается производительность стана. Применение трех фасонных калибров и формирование исходной полосы в гладких валках дало возмож-

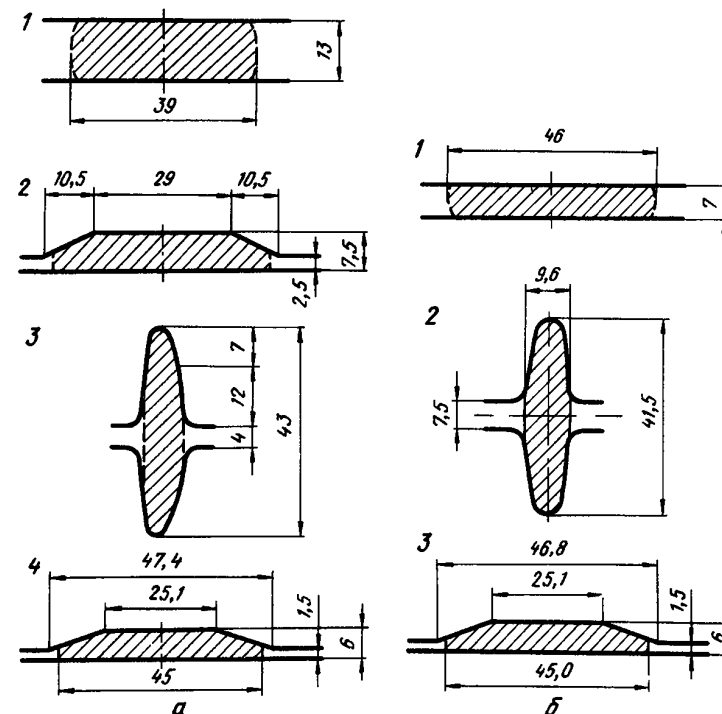


Рис. 99. Калибровка трапециевидной рессоры 45/25×6/2 мм:

а — с интенсивным обжатием кромок в чистовом калибре; б — с двумя фасонными калибрами

ность использовать обводной аппарат для передачи квадратного раската и тем самым ликвидировать на этом участке ручной труд вальцовщиков. При повышенных обжатиях кромок в калибре 2 обеспечивается хорошее центрирование лопосы, что позволяет в этом калибре отказаться от вводной коробки сложной конструкции.

При разработке калибровки форму закругления вершин предчистового ребрового калибра выбирают из условия симметричности закругления кромок готового профиля относительно горизонтальной оси. Величина обжатия кромок полосы в чистовом калибре должна обеспечить получение плавного закругления кромок готового профиля.

Так как согласно техническим условиям на трапециевидный рессорный профиль 45/26 × 6/2 мм не требовалось высокой точности закруглений кромок, то калибровка была в дальнейшем усовершенствована (рис. 99, б) при формировании профиля только в двух фасонных калибрах. Применение такой калибровки позволило прокатывать трапециевидную рессору только высокой точности. Производительность стана значительно увеличилась. Брак по разнотолщинности кромок составил всего лишь 0,2 т на 570 т проката, а общий брак 2,6 % [102].

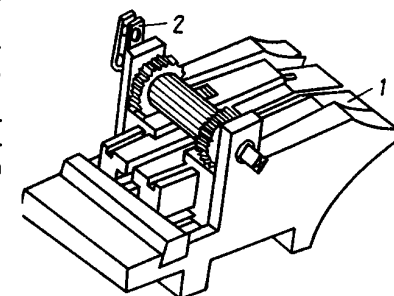


Рис. 100. Автоматическая вводная коробка чистовой клетки для прокатки трапециевидной рессоры 45/25×6/2 мм

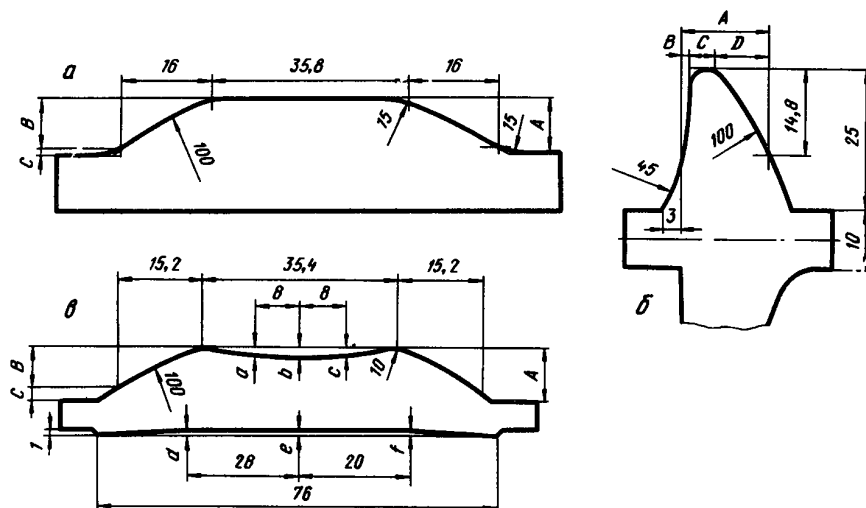


Рис. 101. Размеры шаблонов клетки IV (а) с вертикальными валками (б) и чистовой (в) для прокатки на стане 370 трапецевидных рессорных профилей

При прокатке трапецевидной рессоры на стане 325 была применена в чистовой клетки автоматическая вводная коробка (рис. 100), принцип действия которой заключается в следующем. В нормальном положении (перед задачей полосы) пропуски 1 раздвинуты и задача полосы не вызывает никаких затруднений. После захвате полосы валками установленный над клетью электромагнит поворачивает рычаг 2. Пропуски получают гоступетельное движение в направлении к валкам и одновременно сближаются, обеспечивая точную задачу полосы и строгую ее фиксацию относительно калибра. При выходе полосы из валков происходит отключение

Таблица 6. Размеры шаблонов, мм, для прокатки трапецевидной рессоры

| Рессора    | Клеть IV |     |     | Клеть с вертикальными валками |     |     |     |
|------------|----------|-----|-----|-------------------------------|-----|-----|-----|
|            | A        | B   | C   | A                             | B   | C   | D   |
| 65/35X7/2  | 5,9      | 4,9 | 1,0 | 11,0                          | 1,4 | 3,0 | 6,6 |
| 65/35X8/2  | 6,3      | 5,3 | 1,0 | 12,0                          | 1,4 | 3,5 | 7,1 |
| 65/35X9/2  | 7,0      | 5,7 | 1,3 | 13,1                          | 1,4 | 3,8 | 7,9 |
| 65/35X10/2 | 8,0      | 6,4 | 1,6 | 14,0                          | 1,4 | 4,1 | 8,5 |
| 65/35X11/2 | 9,0      | 7,2 | 1,8 | 15,2                          | 1,4 | 4,5 | 9,3 |

| Чистовая клеть |     |     |      |      |      |      |      |      |
|----------------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| A              | B   | C   | a    | b    | c    | d    | e    | f    |
| 5,4            | 4,8 | 0,6 | 0,14 | 0,20 | 0,14 | 0    | 0    | 0    |
| 6,3            | 5,4 | 0,9 | 0,15 | 0,25 | 0,15 | 0    | 0    | 0    |
| 7,1            | 6,1 | 1,0 | 0,15 | 0,25 | 0,15 | 0    | 0    | 0    |
| 8,1            | 6,8 | 1,3 | 0,14 | 0,18 | 0,14 | 0,08 | 0,08 | 0,08 |
| 9,1            | 7,4 | 1,7 | 0,14 | 0,18 | 0,14 | 0,08 | 0,08 | 0,08 |

электромагнита и пропуски возвращаются в первоначальное положение. Импульсом для включения электромагнита служит подъем верхнего валка при захвате полосы, который передается на контактор электромагнита через текстолитовый вкладыш, скользящий по валку, и систему рычагов. Применение автоматической вводной коробки значительно облегчило прокатку трапецевидной рассорной полосы 45/25X6/2 мм.

Прокатка трапецевидных рессорных профилей шириной 65 мм и толщиной 7 — 11 мм из стали 50ХГ и 50ХГА для рассор грузовых автомобилей освоена [103] на полунепрерывном стане 370.

Результаты прокатки трех промышленных партий трапецевидных рессорных профилей 65/35X7/1,15 мм и 65/35X11/1,85 мм показали опраделенную закономерность в уменьшении вторых сортов (праще всего по размерем). Так, второй сорт (по обоим профилям вместе) составил в первой партии проката 13,5, во второй 5,35 и в третьей 2,7 %. Выход второго сорта по размерам во всех трех партиях был соответственно 1,61; 2,59 и 0,07 %. Заметное уменьшение выхода вторых сортов по размеру и тратей промышленной партии определяется как повышением квалификации рабочих, так и проведенными организационно-техническими мероприятиями. Основная доля брака приходится на металл, имеющий глубину обезуглероженого слоя больше допустимой.

В процессе последующих прокаток калибровка трапецевидных рессорных профилей не претерпела сколько-нибудь заметных изменений. Для уменьшения утолщений по кромкам полосы был несколько уменьшен выпуск калибров вертикальной клетки, что обеспечило увеличение стойкости вапков чистовой клетки примерно на 20 %. Тем не менее стойкость чистовых калибров в 1,5 раза ниже, чем при прокатке прямоугольной рассоры. Для трапецевидных профилей шириной 65 мм и толщиной 7 — 11 мм стойкость одного калибра чистовой клетки составила 55 — 75 т готовой рассоры. Стойкость калибров клетки IV для этих же профилей значительно выше и составляет соответственно 430, 540, 680, 760 и 1200 т.

Не рис. 101 и в табл. 6 приведены размеры шаблонов калибров для прокатки на стане 370 трапецевидной рессоры шириной 65 мм и толщиной 7 — 11 мм.

#### ПРОКАТКА Т-ОБРАЗНЫХ РЕССОРНЫХ ПРОФИЛЕЙ

Т-образная рессорная полоса размерами  $B/B_1 \times H/H_1$  мм (см. рис. 98, в) представляет собой профиль с неодинаковой толщиной поперечного сечения: толщина срадной части соответствует толщине данного типоразмера, а толщина крайних частей значительно уменьшена. От средней части к крайним предусмотрен плавный переход. Т-образные рессорные профили предназначены для рессор грузовых автомобилей, автобусов и троллейбусов и вначале были освоены на полунепрерывном рессорном стане 370. Схеме прокатки Т-образной рессоры 65/38 X 10/4 мм приведена на рис. 102.

В дальнейшем Т-образные рессорные профили были включены [104, 105] в специализацию непрерывного стана 300, на котором освоены профили из сталей 55С2, 60С2 и 60ХГС следующих типоразмеров: 65/38 X 10/4 мм; 75/52,5 X 9/3,6 мм; 75/52,5 X 10/4 мм; 90/63 X 12/4,8 мм; 90/63 X 11/4,4 мм; 90/63 X 18/7,2 мм.

Т-образные рессорные профили из сталей 60С2 и 60ХГС размерами 90/63 X 14/5,6; 90/63 X 18/7,2 и 100/70 X 16/6,4 мм прокатывают на стане 400 из заготовки сечением 135 X 135 мм и длиной 1500 мм. Перепад температуры по длине раската составляет при прокатке 40 — 60°C, что вызывает увеличение толщины полос по их длине на 0,15 — 0,17 мм [106].

Прокатка Т-образных рессорных профилей связана с опраделенными трудностями в связи с неодинаковой толщиной профиля, а, следовательно необходимостью применения неравномерной деформации по ширине. Температуре по ширине полосы также получается неодинаковой, что обуславливает неравномерный износ рабочей поверхности. Не непрерывном стане 300 принята [105] схема прокатки Т-образных профилей в открытых калибрах с формированием готового профиля в зависимости от его размеров в четырех или пяти фасонных калибрах валков чистовой группы клетей (рис. 103). Одна или две клетки с фасонными калибрами должны быть с

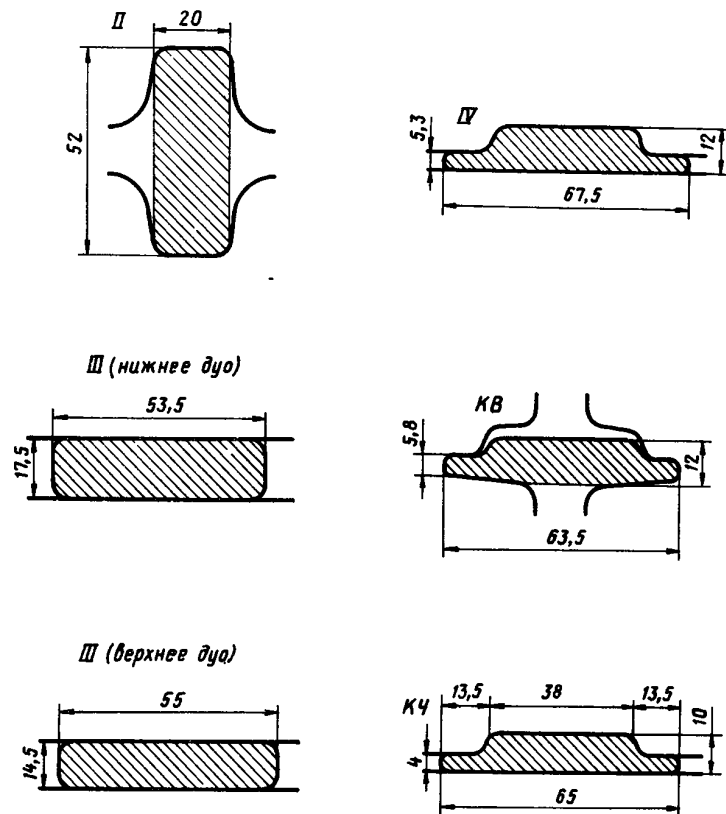


Рис. 102. Схема прокатки Т-образной рессоры 65/38X10/4 мм на стане 370:  
KB — клеть с вертикальными валками; KЧ — клеть чистовая

вертикальными валками для контроля размеров по ширине. После клетки V черновой линии деформацию полос ведут в гладких валках (клетки V — VII). При разработке калибровки наибольшую неравномерность деформации принимают в первых по ходу прокатки фасонных калибров. В чистовом калибре предусматривают более равномерную высотную деформацию по ширине.

В формирующем фасонном калибре клетки VIII (см. рис. 103) происходит интенсивное обжатие крайних частей полосы и незначительное обжатие средней части. В последующем калибре (клетка IX) неравномерность деформации существенно уменьшается и полоса по своей форме и размерам достаточно близка к готовому профилю. Далее для контроля ширины раскат деформируют в ребровом калибре клетки E с вертикальными валками.

Настройка стане должна быть произведена таким образом, чтобы обеспечить беспрепятственный заход тонких частей раската в ребровой предчистовой калибр. Обжатие необходимо начинать с тонких частей, а затем на значительно меньшую величину следует деформировать по ширине и среднюю (толстую) часть полосы. Толщина тонкой части ребрового калибра проектируется больше примерно на 1 мм соответствующего размера задаваемого в ребровой калибр раската. Радиус закругления дна ручья предчистового ребрового калибра в целях предотвращения налипания плен в калибре принимают равным примерно половине толщины тонкой части раската. Коэффициент вытяжки в чистовом калибре обычно незначительный и составляет 1,04 — 1,07.

В чистовом калибре для обеспечения устойчивости полосы и получения требуемого качества поверхности и точности размеров готового профиля предусматривается как высотное обжатие по всей ширине полосы, так и боковое обжатие средней толстой части профиля, которое составляет 0,4 — 0,5 мм на сторону.

Раскат, поступающий в чистовую клеть, должен иметь такие размеры, которые обеспечивают наибольшую равномерность высотной деформации по ширине тонких частей. Однако, к сожалению, получить в чистовой клетке одинаковые коэффициенты обжатия по всей ширине полосы не представляется возможным, поскольку из предчистового ребрового калибра в результате обязательного выпуска тонкие части поступают переменной толщины, увеличивающейся от краев полосы к ее середине.

В процессе прокатки Т-образных раскатных профилей происходит значительный износ калибров. Поэтому при построении чистового калибра необходимо учитывать повышенный износ тех участков калибра, в которых формируют тонкие боковые кромки профиля.

При разработке калибровки чистовой калибр рассчитывают на получение готового профиля с минусовыми допускаемыми отклонениями по тонким частям и с плюсовыми — по толстой средней части. К концу кампании по мере износа валков в калибре наблюдают плюсовое отклонение по тонким частям и минусовое — по толстой. При превышении предельных допусков приходится производить смену калибра. Стойкость чистового калибра обычно составляет 150 — 180 т проката.

В чистовом калибре на верхнем валке (см. рис. 103) предусматривают выпуклость 0,1 мм, что гарантирует отсутствие выпуклости поверхности готового профиля и обеспечивает плотное прилегание полос при сборке готовых рессор. Такой же эффект по мере прокатки достигают и без выпуклости поверхности калибра верхнего валка в результате более быстрого износа калибра более холодными краями полосы.

При прокатке Т-образных раскатных профилей на непрерывном стане 300 наблюдают одинаковый характер износа всех фасонных калибров, расположенных в клетях с горизонтальными валками. В процессе прокатки ширина средней части калибра увеличивается, на гладком нижнем валке образуется выемка более глубокая по краям полосы и сравнительно мелкая в средней части, уменьшается глубина впадины в верхнем валке (например, в чистовом калибре до 0,07 мм), на верхнем валке увеличивается угол наклона боковых поверхностей толстой части (с 10 до 15°), радиус скруглений углов толстой части увеличивается с 3 до 6 мм, а радиус в местах

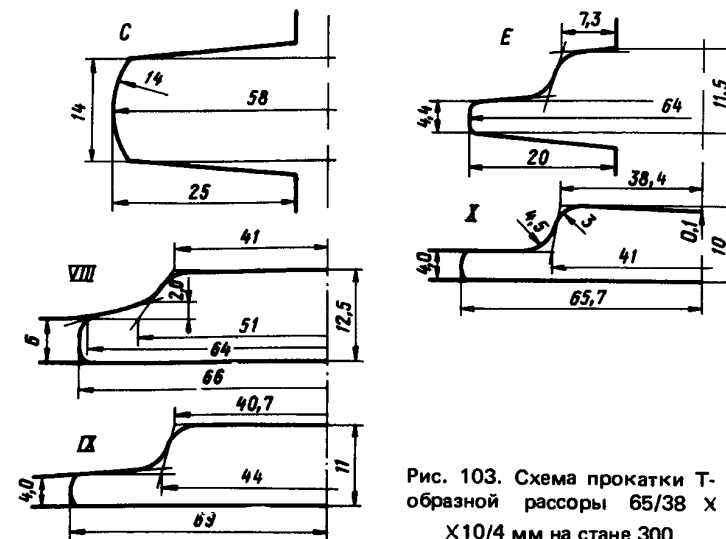


Рис. 103. Схема прокатки Т-образной рессоры 65/38 X 10/4 мм на стане 300

перехода от толстой части к тонким уменьшается с 4,5 до 2 мм [105]. Точно такой же износ наблюдается и в рабровых калибрах. При этом дополнительно добавляется износ по дну калибра и по ширине тонкой части.

Измерения показали, что в прадчистовом калибре после прокатки 120 полос износ на верхнем валке составляет 0,02 — 0,04 мм, а на нижнем 0,06 — 0,07 мм. Износ боковой поверхности средней части доходит от 0,25 — 0,3 мм. К концу прокатки не чистовом калибре износ по ширине в верхнем валке доходит до 1,5 мм. Валки изготавливают из чугуна СПХН-62, твердость поверхности которых составляет 62 — 72 HSD и глубиной отбела 10 — 20 мм.

Так как для всех готовых профилей Т-образных рессор отношение  $H_1/H$  принимают одинаковым и равным 0,4, то невозможно использовать общие прадчистовые калибры даже для двух смежных размеров Т-образных рессор. Поэтому для каждого профилируемого приходится иметь в работе свой комплект шаблонов и разцов. Соответственно возрастает и парк прокатных валков.

Для получения готового профиля высокого качества важное значение имеет конструкция валковой арматуры и выбор катающих диаметров валков. На стане 300 при прокатке Т-образных рессор калибры в клетях с горизонтальными валками располагают таким образом, чтобы катающие диаметры нижнего валка и средней толстой части верхнего валка были равны. При этом за счет тонких частей происходит верхнее давление, способствующее прямолинейному выходу полосы из валков.

Применяемая конструкция валковой арматуры: вводные коробки с пропусками, регулируемые по ширине, и выводные подвесные проводки с профильной поверхностью носка, устанавливаемые в комплекте с выводными линейками, позволяет производить ее точную установку относительно калибра и регулировать ширину внутренней рабочей части.

Настройке стане и стабилизации размеров профиля Т-образных рессор в процесса прокатки с соблюдением заданных допускаемых отклонений значительно сложнее, чем при прокатке прямоугольной рессоры. Вследствие меньшего поперечного сечения по сравнению с соответствующими размерами прямоугольных рессор производительность стана 300 при прокатке Т-образных профилей получается значительно меньшей.

#### ОСВОЕНИЕ ПРОКАТКИ ТРАПЕЦИЕВИДНО-СТУПЕНЧАТЫХ РЕССОРНЫХ ПРОФИЛЕЙ

Трапециевидно-ступенчатый рессорный профиль размером  $B/B_1 \times H/H_1$  мм (см. рис. 98, 2) при равных показателях прочности и долговечности имеет массу на 1 м длины несколько ниже, чем у соответствующей трапециевидной рессоры. Соответственно за счет этого и происходит экономия металла.

Опыты по прокатке трапециевидно-ступенчатых рессорных профилей впервые были проведены на полупрерывном стане 370. При освоении трапециевидно-ступенчатых рессорных профилей шириной 65 мм были разработаны два варианта калибровки.

По первому варианту (рис. 104) рабровой калибр расположен, в отличие от обычно применяемой схемы, в клетке IV черновой линии. Вертикальную клетку не используют. Окончательное формирование профиля осуществляют в чистовой клетке. По первому варианту калибровки были прокатаны трапециевидно-ступенчатые профили 65/42 X 7/2,3 мм (см. рис. 104) и 65/42 X 11/3,7 мм. Для прокатки профиля 65/42 X 11/3,7 мм на валках чистовой клетки было нарезано два калибра, один из которых имел гладкую (плоскую) поверхность нижнего валка и для другого калибра нижний валок имел выпуклую поверхность с максимальной выпуклостью 0,08 мм.

Второй вариант калибровки предусматривает контроль ширины полосы по обычно применяемой схеме — в клетке с вертикальными валками. Количество фасонных калибров то же самое, что и для первого варианта калибровки (четыре). По этой же схеме прокатывали трапециевидно-ступенчатые профили 65/42 X 8/2,7 мм (рис. 105) и 65/42 X 10/3,3 мм.

Прокатку рессоры по обоим вариантам калибровки осуществляли из сталей 50ХГ и 55С2. При опытной прокатке на стане 370 трапециевидно-ступенчатых рессорных профилей наблюдали разнотолщинность кромок, что и при освоении Т-образной рессоры.

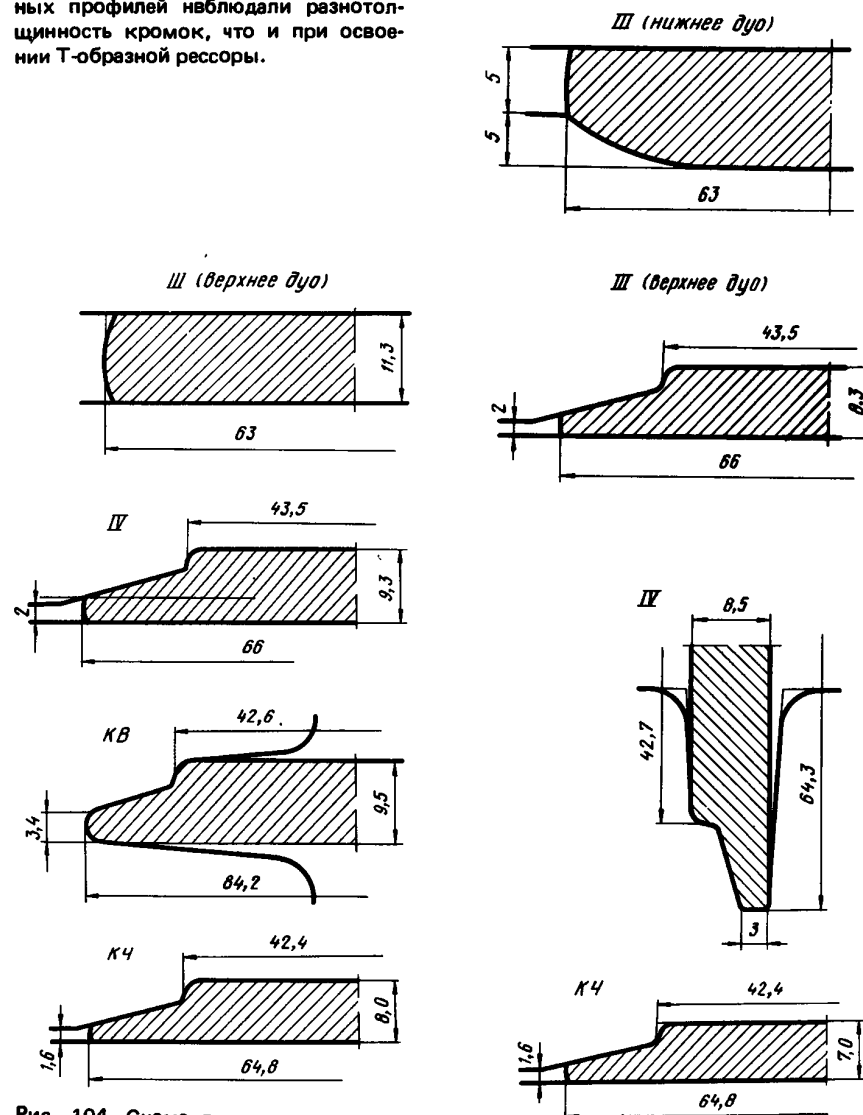


Рис. 104. Схема прокатки трапециевидно-ступенчатого рессорного профиля 65/42 X 7/2,3 мм (K3 — клетка чистовая)

Рис. 105. Схема прокатки трапециевидно-ступенчатого рессорного профиля 65/42 X 8/2,7 мм

# БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Основные направления экономического и социального развития СССР на 1981 — 1985 годы и на период до 1990 года. М.: Политиздат, 1981, 95 с.
2. Калибровки сложных профилей: Справочник. М.: Металлургия, 1980, 232 с. / Скороходов Н.Е., Илюкович Б.М., Шулаев И.П. и др.
3. Бахтинов Б.П. и Штернов М.М. Калибровка прокатных валков. М.: Металлургиздат, 1953. 784 с.
4. Смирнов В.С., Богоявленский К.Н., Павлов Н.Н. Калибровка прокатных валков. М.: Металлургиздат, 1953. 328 с.
5. Старченко Д.И. Развернутая калибровка фасонных профилей. М.: Металлургиздат, 1952. 248 с.
6. Илюкович Б.М., Меркурьев С.Е. — Металлург, 1964, № 12, с. 34 — 35.
7. Терентьев С.Г. — Сталь, 1959, № 1, с. 64 — 67.
8. Деревянко В.И., Лукашевич А.Б., Струков С.П. и др. — Металлургическая и горнорудная промышленность, 1974, № 5 (89), с. 26 — 27.
9. Фейгин Г.Д., Герман И.М., Павлов Б.П. — Металлург, 1974, № 4, с. 33 — 35.
10. Шуралев М.В., Некрасов С.Г. — Сталь, 1959, № 1, с. 58 — 63.
11. Шуралев М.В., Некрасов С.Г., Гамча С.Г. — Металлург, 1961, № 9, с. 23 — 24.
12. Полухин П.И., Берковский В.С., Жадан В.Т. и др. — Сталь, 1975, № 3, с. 238 — 242.
13. Полухин П.И., Жадан В.Т., Берковский В.С. и др. — Пластическая деформация металлов и сплавов: Науч. тр. / МИСиС. М.: Металлургия, 1970, № 64, с. 79 — 87.
14. Полухин П.И., Жадан В.И., Берковский В.С. и др. — Металлург, 1973, № 8, с. 26 — 28.
15. Берковский В.С., Жадан В.Т., Федосов Б.М. — Пластическая деформация металлов и сплавов: Науч. тр. / МИСиС. М.: Металлургия, 1975, № 80, с. 98 — 102.
16. Горячекатаные сортовые и фасонные профили проката: Справочник/ Волобуев В.И., Гордиенко Ж.И., Гунин И.В. и др. М.: Металлургия, 1969, 407 с.
17. Медведев В.С., Гунин И.В., Грицук Н.Ф. и др. — Металлург, 1972, № 11, с. 26 — 29.
18. Гурфинкель О.Л., Нефедьев Н.Г., Чуков И.Я. — Металлург, 1973, № 9, с. 25.
19. Илюкович Б.М., Вихрев Н.А., Есипов В.Д. Технология прокатки и методика расчета калибровки спецпрофилей П-образной формы на четырехклетевом стане 300. Деп. № 2266. Укр. НИИТИ. 23. VII. 1980, 14 с.
20. Илюкович Б.М., Меркурьев С.Е. — Металлург, 1967, № 4, с. 27 — 28.
21. Жадан В.Т., Стефанов В.Е. — В кн.: Пластичность и обработка металлов давлением. Минск: Наука и техника, 1966, с. 44 — 54.
22. Жадан В.Т., Стефанов В.Е. — В кн.: Пластичность и обработка металлов давлением, Минск: Наука и техника, 1966, с. 54 — 60.
23. Жадан В.Т., Стефанов В.Е. — В кн.: Пластичность и обработка металлов давлением, Минск: Наука и техника, 1966, с. 61 — 76.
24. Жадан В.Т., Стефанов В.Е. Эффективный способ прокатки фасонных профилей. М.: Металлургия, 1970 216 с.
25. Барабанов В.Д., Карпенко Г.А., Демченко В.П. — Сталь, 1976, № 8, с. 735 — 736.
26. Меркурьев С.Е., Илюкович Б.М. — Металлург, 1972, № 2, с. 38 — 40.
27. Миренский М.Л. — Металлург, 1958, № 4, с. 23 — 24.
28. Протасов Н.Ф., Хлебников В.П., Сикорский А.И. и др. — Металлург, 1958, № 12, с. 27 — 29.
29. Илюкович Б.М. — Сталь, 1959, № 11, с. 1000 — 1003.
30. Илюкович Б.М., Меркурьев С.Е. — Металлург, 1965, № 11, с. 60 — 61.
31. Шаралов И.А. — Сталь, 1965, № 11, с. 1028 — 1030.
32. Деревянко В.И., Малый Ю.Г., Струков С.П. и др. — Сталь, 1973, № 12, с. 1111 — 1112.
33. Илюкович Б.М., Меркурьев С.Е. — Сталь, 1972, № 9, с. 828 — 829.
34. Илюкович Б.М. Прокатка тавровых профилей в открытых келибрах. М.: Металлургиздат, 1961. 69 с.
35. Тарновский И.Я., Скороходов А.Н., Илюкович Б.М. Элементы теории прокатки сложных профилей. М.: Металлургия, 1972. 352 с.
36. Есипов В.Д., Илюкович А.Б., Гончаренко С.Г., Король А.И. Формоизменение металла при прокатке в несимметричных калибрах крестообразной формы. Деп. № 2310. Укр. НИИТИ, 9. IX. 1980. 25 с.
37. Планирование эксперимента в исследованиях технологических процессов/ Хартман К., Лецкий Э., Шефер В. и др. И.: Мир, 1977 552 с.
38. Барам А.Н., Пузачев Я.Я. — Металлург, 1968, № 9, с. 23 — 25.
39. Шуралев М.В., Некрасов С.Г. — Металлург, 1960, № 3, с. 24 — 26.
40. Производство сортового проката в широком сортаменте/ Грицук Н.Ф., Сапрыгин Х.М., Гунин И.В. и др. М.: Металлургия, 1973, 282 с.
41. Нев С.Б. — Энергомашиностроение, 1959, № 1, с. 35 — 36.
42. Спинько А.А., Васильев Н.Ю. — Сталь, 1964, № 10, с. 914 — 915.
43. Зюзин В.И., Бахтинов Ю.Б., Северов М.А. и др. — Сталь, 1972, № 11, с. 1012 — 1014.
44. Бахтинов Ю.Б. — Черная металлургия, Бюл. НТИ, 1974, № 1 (717), с. 41 — 43.
45. Бахтинов Ю.Б., Аксаков И.С., Яковлев А.А. и др. — Металлург, 1974, № 11, с. 46 — 48.
46. Медведев В.С., Мозилевский И.И., Еремеев В.И. — Металлург, 1971, № 10, с. 30 — 32.
47. Некрасов С.Г. — Изв. вузов. Черная металлургия, 1958, № 11, с. 145 — 147.
48. Шуралев М.В., Некрасов С.Г. — Металлургия, 1959, № 3, с. 26 — 27.
49. Терентьев С.Г. — Сталь, 1968, № 9, с. 819 — 822.
50. Барам А.Н., Пузачев Я.Я. — Металлург, 1966, № 11, с. 23 — 26.
51. Илюкович Б.М., Скороходов А.Н. — Металлург, 1962, № 9, с. 19 — 20.
52. Илюкович Б.М., Меркурьев С.Е. — Металлург, 1965, № 5, с. 30 — 31.
53. Сафонов А.Б. — Сталь, 1972, № 6, с. 535.
54. Незверенко Х.Н. — В кн.: Производство и применение экономичных профилей проката. Днепропетровск. Кн. изд-во, 1961, с. 206 — 214.
55. Чекмарев А.П., Машковцев Р.Д., Шломчак Г.Г. — Обработка металлов давлением. Науч. тр. / ДМетИ. М.: Металлургия, 1965, вып. 49, с. 279 — 294.
56. Сороко Л.Н., Миренский М.Л. — Сталь, 1957, № 4, с. 329 — 332.
57. Корчемный А.М. — Металлург, 1969, № 9, с. 33.
58. Попушкин В.П., Фурман Я.Б. — Металлург, 1977, № 10, с. 33 — 34.
59. Плеханов П.С., Гопованенко С.А., Кобызев В.К. и др. — Сталь. 1965, № 10, с. 922 — 927.
60. Илюкович Б.М., Никулин А.В., Мединский Г.А. — В кн.: Интенсификация и повышение эффективности металлургического производства. Киев: Вища школа, 1980, с. 67 — 71.
61. Пальчевский Б.А. Научное исследование: объект, направление, метод. Львов.: Вища школа, 1979, 180 с.
62. Никулин А.В., Илюкович Б.М., Есипов В.Д. Методика построения математических моделей для расчета коэффициента вытяжки при прокатке и определения начальных приближений решений вариационных задач. Деп. № 1759. УкрНИИТИ 13. XI. 1979, 16 с.
63. Илюкович Б.М. — Металлург, 1960, № 9, с. 22 — 23.
64. Динник А.А., Катан А.С., Куцыгин В.Д. и др. — Металлург, 1970, № 12, с. 26 — 28.
65. Динник А.А., Катан А.С., Куцыгин В.Д. и др. — Металлургическая и горнорудная промышленность. 1970, № 5 (65), с. 85 — 88.
66. Катан Л.С., Куцыгин В.Д., Маякин А.В. — Труды/ ДМетИ. М.: Металлургия, 1971, 57, с. 38—43.
67. Илюкович Б.М., Бойко Б.М., Тарновский И.Я., Скороходов А.Н. — Сталь, 1968, № 10, с. 926 — 929.
68. Маякин А.В., Куцыгин В.Д., Катан А.С. и др. — Сталь, 1977, № 5, с. 431 — 433.
69. Медведев В.С., Кулак Ю.Е., Филонов Ю.В. и др. — Сталь, 1975, № 7, с. 624 — 629.
70. Медведев В.С., Филонов Ю.В., Меркурьев С.Е. и др. — Сортопрокатное производство: Науч. тр./ УкрНИИмет. Харьков: 1975, вып. 3, с. 107 — 112.

71. Илюкович Б.М. — Металлург, 1960, № 3, с. 27 — 29.
72. Кноблох А.К. — Сталь, 1945, № 6, с. 211 — 214.
73. Калибровка и прокатка автобоба на непрерывном стане. Бюл. ЦНИИЧМ, 1954, № 19 (255), с. 27 — 29.
74. Илюкович Б.М. — Сталь, 1967, № 11, с. 1024 — 1026.
75. Есилов В.Д., Моспан Г.Н. — Сталь, 1976, № 7, с. 626 — 629.
76. Есилов В.Д., Киреев И.Н., Сафронов В.А. и др. — Черная металлургия. Бюл. НТИ, 1976, № 20 (784), с. 36 — 37.
77. Гладков Г.А., Долженков Ф.Е., Прищенко Л.Н. Прокатка особоточных профилей. М.: Металлургия, 1979, 216 с.
78. Шепская И.Р., Николаев А.С. — Металлург, 1971, № 4, с. 33 — 35.
79. Производство и применение стальных фасонных профилей высокой точности/ Мехнеев И.Ф., Гроссман Х.Б., Гамбург М.Я., Толстых Э.А. Ижевск: Удмуртия, 1967, 83 с.
80. Клименко В.М., Гладков Г.А., Прищенко Л.Н. и др. — Сталь, 1974, № 2, с. 178 — 180.
81. Чекмарев А.П., Нефедов А.А., Николаев В.А. Теория продольной прокатки. Харьков: ХГУ, 1965. 212 с.
82. Шадрин В.А. Инженерные методы расчетов деформации металла при прокатке. М.: Металлургия, 1973, 112 с.
83. Налимов В.В., Голикова Т.И. Логические основы планирования эксперимента. М.: Металлургия, 1976, 128 с.
84. Илюкович Б.М. — Металлург, 1958, № 5, с. 25 — 27.
85. Сазоненко В.П., Остапенко В.В. — Сталь, 1956, № 8, с. 716 — 721.
86. Терентьев С.Г. — Металлург, 1957, № 8, с. 28 — 30.
87. Илюкович Б.М., Скороходов А.Н. — Металлург, 1961, № 12, с. 27 — 29.
88. Клименко В.М., Пеленов А.К., Чуманов Ю.М. и др. — Бюл. НТИ, 1972, № 9, с. 54 — 55.
89. Сапрыгин Х.М., Кошельков Б.М., Ивашин Н.Г. — Сортопрокатное производство: Науч. тр./ УкрНИИмет, 1978, с. 66 — 70.
90. Уткин Г.С., Пашнин В.А., Акулов В.Г., Резвов Б.С. — В кн.: Сортопрокатное производство. Харьков: 1977, с. 56 — 69.
91. Динник А.А., Маякин А.В., Алексеев Г.Я. и др. — В кн.: Металлургия и коксохимия. Киев: Техника, 1970, вып. 18, с. 35 — 39.
92. Чуманов Ю.М., Губайдулин В.Ф., Шувьгин Г.Н. — В кн.: Интенсификация процессов прокатки и волочения. Киев: Техника, 1977, с. 67 — 68.
93. Илюкович В.Б., Мерзляков Т.Ф. — Металлург, 1960, № 3, с. 28 — 29.
94. Миренский М.П. — Сталь, 1953, № 5, с. 434 — 436.
95. Колытин П.И. — Сталь, 1961, № 5, с. 425 — 428.
96. Уткин Г.С., Ерин В.А., Крайнов В.И. — Бюл. НТИ, 1972, № 10, с. 50 — 51.
97. Илюкович Б.М., Меркурьев С.Е. — Металлург, 1972, № 9, с. 37.
98. Меркурьев С.Е., Илюкович Б.М. — Металлург, 1972, № 4, с. 35 — 36.
99. Илюкович Б.М., Меркурьев С.Е. — Металлург, 1973, № 8, с. 33.
100. Буйнов А.Ф. — Автомобильная промышленность, 1969, № 10, с. 28 — 30.
101. Буйнов А.Ф. — Автомобильная промышленность, 1969, № 1, с. 37 — 38.
102. Лобарев М.И., Берковский В.С. — Металлург, 1958, № 4, с. 20 — 22.
103. Илюкович Б.М., Меркурьев С.Е. — Металлург, 1973, № 1, с. 25 — 27.
104. Лебадева Л.В., Бальков Е.А., Окулов В.П., Гурфинкель М.Л. — Металлург, 1972, № 3, с. 30 — 32.
105. Лебадева Л.В. — Сталь, 1975, № 12, с. 1107 — 1108.
106. Кулак Ю.Е., Грицук Н.Ф., Дьяченко К.К. и др. — Сталь, 1977, № 8, с. 723 — 725.

Илюкович Будимир Михайлович  
Шулаев Иван Петрович  
Есилов Василий Дмитриевич  
Меркурьев Станислав Ефсеевич

# ПРОКАТКА ФАСОННЫХ ПРОФИЛЕЙ ДЛЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Редактор издательства С.Н.Стародубцева  
Художественный редактор А.И.Гофштейн  
Технический редактор Е.К.Астафьева  
Корректор В.С.Колгенова  
Обложка художника В.В.Воронина

ИБ № 2315

Подписано в печать 09.06.83. Т—12657. Формат бумаги 60 × 90 1/16  
Бумага офсетная № 1 Печать офсетная Печ.л. 12,5. Кр.-отт. 12,75  
Уч.-изд.л. 14,87 Тираж 1160 экз. Заказ 2134 Цена 80 к. Изд. № 0658

Набрано в издательстве "Металлургия"  
на электронном композере ИБМ 82 оператором Е.Ю.Ширяевой

Ордена Трудового Красного Знамени  
издательство "Металлургия", 119034, Москва, Г—34,  
2-й Обыденский пер., д. 14

Московская типография № 9 Союзполиграфпрома  
при Государственном комитете СССР  
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли  
г. Москва, Волочаевская ул., д. 40

## **ЗАКАЗЫВАЙТЕ КНИГИ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ "МЕТАЛЛУРГИЯ"**

Вам предлагаются книги выпуска 1984 г., заказы на которые принимает только издательство "Металлургия". Книготорговые организации и библиотечные заказы на эти книги не принимают. В продажу через книжные магазины они не поступают.

По мере выхода книг из печати Вы получите их наложенным платежом из магазина № 93 "Книга — почтой" через местное почтовое отделение.

Заказы направляйте по адресу: 119034, Москва, ГСП-3, 2-й Обыденский пер., д. 14. Отдел распространения.

Заказы принимаются до 31 декабря 1983 г.

**АСУ ТП СОВРЕМЕННЫХ БАЛОЧНЫХ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ.** Под. ред. Тимофеева Б.Б. и Попельнуха В.И. 12 л. 60 к.

**Богатов А.А., Мижицкий О.И., Смирнов С.В. РЕСУРС ПЛАСТИЧНОСТИ МЕТАЛЛОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДАВЛЕНИЕМ.** 12 л. 1 р. 80 к.

**Боровик Л.И., Доброзраов А.И. ПОДГОТОВКА И ОБРАБОТКА ВАЛКОВ ТОНКОЛИСТОВЫХ СТАНОВ.** 8 л. 40 к.

**Вайнштейн С.М. БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА ВАЛЬЦОВЩИКА ЛИСТОПРОКАТНОГО СТАНА.** 3 л. 15 к.

**Ганкин В.Я., Есаулов А.Т., Староселецкий М.И. и др. НЕПРЕРЫВНОЛИТЫЕ КРУГЛЫЕ ЗАГОТОВКИ.** 12 л. 60 к.

**Гун Г.С. УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОПРОЧНЫХ ПРОФИЛЕЙ.** 12 л. 60 к.

**Даченко В.Н., Чус А.В. ПРОДОЛЬНАЯ ПРОКАТКА ТРУБ.** 12 л. 60 к.

**Другутов М.Я. ПЛАСТИЧНОСТЬ, ЕЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИ ОМД.** 7 л. 35 к.

**Долженков Ф.Е., Коновалов Ю.В., Носов В.Г. и др. ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ТОЛСТЫХ ЛИСТОВ.** 18 л. 90 к.

**Дубровский В.Я., Крупман Ю.Г., Ляховецкий Л.С., Солодухин Я.А. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРУБНОГО ПРОИЗВОДСТВА.** 15 л. 75 к.

**Ериклинцев В.Ф., Фридман Д.С., Розенфельд В.Х. ОПТИМИЗАЦИЯ РАСКРОЯ ПРОКАТА.** 13 л. 65 к.

**Жадан В.Т., Воронцов Н.М., Кулак Ю.Е. и др. ПРОИЗВОДСТВО ПРОКАТА ИЗ РЕССОРНО-ПРУЖИННОЙ СТАЛИ.** 18 л. 1 р. 20 к.

**Левченко Л.Н., Натапов А.С., Машкин Л.Ф. и др. ПРОИЗВОДСТВО АРМАТУРНОЙ СТАЛИ.** 10 л. 50 к.

**Попов Л.Е., Копытов В.С., Ковалевская Т.А. ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ СПЛАВОВ.** 15 л. 2 р. 30 к.

**Райтбарг Л.Х. ПРОИЗВОДСТВО ПРЕССОВАННЫХ ПРОФИЛЕЙ.** 20 л. 1 р. 30 к.

**Сапрыкин Х.М., Нестеров Д.К., Иванов Б.В. и др. РЕЗЕРВЫ ПРОИЗВОДСТВА СЛОЖНЫХ ПРОФИЛЕЙ ПРОКАТА.** 12 л. 60 к.

**Синицын В.Г. НЕСИММЕТРИЧНАЯ ПРОКАТКА ЛИСТОВ И ЛЕНТ.** 15 л. 75 к.

**Склокин Н.Ф., Бродов А.А., Солохина Т.Н. и др. ЭКОНОМИКА ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ СТАЛЬНЫХ ФАСОННЫХ ПРОФИЛЕЙ ВЫСОКОЙ ПРОЧНОСТИ.** 10 л. 50 к.

**Соколовский В.И., Паршин В.С., Баранов Г.Л. НЕПРЕРЫВНЫЕ КАЛИБРОВОЧНЫЕ СТАНЫ.** 10 л. 50 к.

**Соломахин И.С., Васильева А.В., Бражкина Д.В. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ТРУБОЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА.** 10 л. 50 к.

**Франценок И.В., Железнов Ю.Д., Кузнецов Л.А. и др. СОВРЕМЕННЫЙ ЦЕХ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ.** 13 л. 65 к.

**Хасин Г.А., Дианов А.И., Попова Т.Н. и др. ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА И ТЕПЛОЕ ВОЛОЧЕНИЕ СТАЛИ.** 12 л. 60 к.