

№ 1068

МИСиС

В.Б. Шишко
В.А. Трусов
Н.А. Чиченев

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОКАТКИ СОРТОВОЙ СТАЛИ

Основы калибровки валков для
фасонных профилей

Учебное пособие

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

№ 1068

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

МОСКОВСКИЙ ИНСТИТУТ СТАЛИ
И СПЛАВОВ

МИСиС



Кафедра машин и агрегатов металлургических предприятий
Кафедра пластической деформации специальных сплавов

В.Б. Шишко
В.А. Трусов
Н.А. Чиченев

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОКАТКИ СОРТОВОЙ СТАЛИ

Основы калибровки валков для фасонных
профилей

Учебное пособие

Допущено учебно-методическим объединением по
образованию в области металлургии в качестве учебного
пособия для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по специальности Обработка металлов
давлением

Москва Издательство «УЧЕБА» 2007

УДК 621.771.07
Ш55

Рецензент
д-р техн. наук, проф. *А.Г. Кобелев*

Шишко В.Б., Трусов В.А., Чиченев Н.А.

Ш55 Технология прокатки сортовой стали. Основы калибровки валков для фасонных профилей: Учеб пособие. – М.: МИСиС, 2007. – 152 с.

Изложены основные принципы калибровки валков для прокатки фасонных профилей. Рассмотрены общие принципы расчета формоизменения металла в фасонных калибрах. Приведены способы построения, основные геометрические соотношения и способы расчета калибров для прокатки фасонных профилей общего назначения. Рассмотрены преимущества, недостатки и область применения различных схем прокатки, а также примеры практического расчета формоизменения металла и построения калибров для прокатки угловой стали, балок, швеллеров и рельсов. Рассмотрены основные виды привалковой арматуры и основные требования, предъявляемые к ней.

Пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальностям 150106 «Обработка металлов давлением» и 150404 «Металлургические машины и оборудование», а также может быть полезно при проведении практических занятий, курсовом и дипломном проектировании.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	5
Введение.....	7
Условные обозначения.....	8
Геометрия раската и калибра.....	8
Параметры формоизменения.....	8
1. Теоретические основы калибровки фасонных профилей.....	9
1.1. Технологическая классификация фасонных профилей.....	9
1.2. Элементы калибровки валков.....	10
1.3. Проектирование калибровки валков.....	13
1.4. Конструирование калибров.....	16
1.5. Расположение калибров на валках.....	19
1.6. Распределение обжатий по проходам.....	23
1.7. Методы расчета формоизменения металла при прокатке в фасонных калибрах.....	24
1.8. Характерные особенности фланцевых профилей.....	26
1.9. Привалковая арматура для прокатки фасонных профилей.....	28
2. Калибровка валков для прокатки угловой стали.....	30
2.1. Сортамент угловой стали.....	30
2.2. Способы прокатки угловой стали.....	31
2.3. Чистовой калибр.....	35
2.4. Методы расчета калибровки валков.....	35
2.5. Геометрические соотношения в угловых калибрах.....	36
2.6. Порядок расчета калибровки валков.....	41
2.7. Пример расчета калибровки валков.....	42
3. Калибровка валков для прокатки двутавровых профилей.....	54
3.1. Сортамент двутавровых профилей (балок).....	54
3.2. Способы прокатки балок.....	55
3.3. Методы расчета калибровок валков.....	60
3.4. Порядок расчета калибровки валков для прокатки двутаврового профиля.....	66
3.5. Пример расчета калибровки валков.....	68
4. Калибровка валков для прокатки швеллеров.....	84
4.1. Сортамент швеллеров.....	84
4.2. Способы прокатки швеллеров.....	85
4.3. Методы расчета калибровок валков.....	89
4.4. Геометрические соотношения швеллерных калибров.....	93

4.5. Порядок расчета калибровки валков для прокатки швеллера.....	100
4.6. Пример расчета калибровки валков.....	102
5. Калибровка валков для прокатки рельсов.....	123
5.1. Сортамент рельсов.....	123
5.2. Способы прокатки рельсов.....	124
5.3. Чистовой рельсовый калибр.....	127
5.4. Рельсовые калибры.....	128
5.5. Типы ребровых калибров и принципы их конструирования.....	128
5.6. Коэффициенты деформации.....	130
5.7. Пример расчета калибровки валков.....	131
Заключение.....	151
Библиографический список.....	152

ПРЕДИСЛОВИЕ

Данное учебное пособие является второй частью серии учебно-методической литературы, посвященной выбору рациональных технологических режимов пластического формоизменения металла и разработке соответствующей калибровки валков сортопрокатных станов. В рамках подготовки инженеров-технологов по специальности 150106 «Обработка металлов давлением» и инженеров-механиков по специальности 150404 «Металлургические машины и оборудование» подобные проблемы рассматриваются в дисциплинах, посвященных теории и технологии процессов сортовой прокатки. В последние годы появился ряд новых теоретических и прикладных разработок в области калибровки валков сортопрокатных станов, которые не отражены в учебно-методической литературе.

В первой части, изданной авторами в 2003 г., изложены основные принципы калибровки валков для прокатки сортовых профилей простой формы. Приведены способы построения и основные геометрические соотношения вытяжных калибров. Рассмотрены преимущества, недостатки и область применения основных вытяжных систем калибров, а также примеры практического расчета формоизменения металла и построения вытяжных калибров. Изложена методика и приведены практические примеры расчета температурных, скоростных и энергосиловых параметров при прокатке сортовых профилей. Определены основные критерии оценки эффективности калибровок валков для прокатки сортовых профилей. Рассмотрены основные виды привалковой арматуры и основные требования, предъявляемые к ней.

В данном учебном пособии фундаментальные положения теории обработки металлов давлением применены для решения конкретных задач производства фасонных профилей. Пособие состоит из пяти взаимно связанных разделов, которые условно можно разделить на две части – теоретическую и практическую. В главе 1 дана классификация фасонных профилей по форме поперечного сечения, приведены основные определения и принципы расчета формоизменения металла в фасонных калибрах и их расположения на валках. Определены требования к привалковой арматуре и основные ее конструктивные параметры. В главах 2–5 рассмотрены методы расчета параметров формоизменения металла при прокатке угловой стали, балок, швеллеров и рельсов. Рассмотрены типовые схемы прокатки, определены их основные преимущества и недостатки, а также область

применения. Приведен порядок расчета калибровок валков для прокатки угловой стали, балок, швеллеров и рельсов. Сформулированы геометрические соотношения черновых и чистовых калибров.

Даны примеры решения конкретных задач по разработке калибровок валков для прокатки угловой стали, балок, швеллеров и рельсов на современных прокатных станах.

В основу данного учебного пособия положен многолетний опыт преподавания аналогичных дисциплин в Московском государственном институте стали и сплавов (технологическом университете) для слушателей факультета послевузовского образования, при повышении квалификации и переподготовке кадров на ряде металлургических предприятий (Череповецкий сталепрокатный завод, Омутнинский металлургический завод, Белорусский металлургический завод, Нижнетагильский металлургический комбинат и др.).

Пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальности 150106 «Обработка металлов давлением» и 150404 «Металлургические машины и оборудование», и может быть использовано при проведении практических занятий и выполнении курсовых и дипломных проектов. Оно может быть полезно инженерам-технологам при разработке научно-обоснованных режимов получения качественного сортового проката, а также для инженеров-механиков, занимающихся проблемами эксплуатации сортовых прокатных станов.

ВВЕДЕНИЕ

Определяющим направлением развития металлургии является улучшение качества и расширение сортамента эффективных видов металлопродукции. В решении этой проблемы одно из ведущих мест занимает освоение производства для различных отраслей хозяйства новых профилей металлопроката, максимально приближенных к форме готового изделия. Применение таких профилей позволяет снизить затраты труда, расход металла и создает условия для сокращения парка металлообрабатывающих станков.

Форма многих профилей не имеет аналогов среди освоенных и для их производства требуется разрабатывать новые методы калибровки валков и применять новые технологические приемы. Поэтому анализ и обобщение опыта проектирования калибровок валков для прокатки как освоенных сложных фасонных профилей, так и вновь осваиваемых представляет весьма значительный теоретический и практический интерес.

Проектирование технологии и, в первую очередь, калибровок валков для прокатки сложных фасонных профилей требует большого инженерного опыта, ошибки приводят к большим затратам времени и материальных средств. Обычно на основании заводской практики считают, что для освоения нового фасонного профиля требуется две-три опытные прокатки, затраты времени на которые составляют от 8 до 20 часов, при этом потери металла могут достигать в зависимости от технических характеристик прокатного стана до 4000 т.

С учетом значительных материальных затрат на освоение фасонных профилей важное значение приобретает правильный выбор наиболее рациональной технологии и расчет калибровки валков. Обычно для освоенных профилей значительное изменение технологии с заменой парка валков и привалковой арматуры производится только в исключительных случаях.

В настоящее время для целого ряда типов фасонных профилей общего назначения (сталь угловая, швеллеры, двутавровые балки и т.д.) разработаны схемы прокатки, научно обоснованы инженерные методы расчета формоизменения металла и проектирования калибров, определены правила расположения калибров на валках. Однако до настоящего времени отсутствуют систематизированные обобщения опыта проектирования калибровок валков для прокатки сложных фасонных профилей (несимметричных, полосового типа, клиновидных и т.п.). Все это сдерживает освоение новых эффективных профилей проката.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Геометрия раската и калибра

h, b, l, a, c	– линейные размеры элементов калибра и раската, мм;
t	– средняя толщина фланца (полки), мм;
d	– толщина стенки профиля, мм;
A	– площадь поперечного сечения, мм ² ;
C, c	– константы;
R, r	– радиусы, мм;
s	– зазор между буртами валков, мм;
φ	– выпуск калибра, град, рад;
D	– диаметр валков, мм;
Z, z	– ордината нейтральной линии, мм;
H, B	– размеры исходной заготовки, мм;
T	– температура металла, °С;
N	– номер профиля;
n	– номер прохода (калибра) против хода прокатки.

Параметры формоизменения

Δh	– обжатие металла, мм;
Δb	– уширение металла, мм;
ε	– относительное обжатие металла;
$1/\eta$	– коэффициент обжатия металла;
β	– коэффициент уширения;
μ	– коэффициент вытяжки;
L	– отношение высоты к ширине элемента профиля;
E	– приведенный диаметр;
e	– отношение частного коэффициента обжатия к общему коэффициенту обжатия;
α	– угол захвата, град, рад.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КАЛИБРОВКИ ФАСОННЫХ ПРОФИЛЕЙ

1.1. Технологическая классификация фасонных профилей

Сортамент фасонных профилей, применяемых в различных отраслях промышленности, насчитывает несколько тысяч профилей, имеющих самую разнообразную форму и размеры. В результате развития машиностроения, строительства, сельского хозяйства и других отраслей промышленности постоянно создается растущая потребность в новых экономичных профилях специального назначения, форма поперечного сечения которых не имеет аналогов среди освоенных профилей и для ее производства требуется создание новых технологических схем. Однако применение таких профилей создает у потребителя условия для значительной экономии металла и трудовых затрат.

В зависимости от формы калибров, в которых получают профиль, и методов или приемов прокатки все фасонные профили подразделяют на отдельные технологические группы. Наибольшее распространение получила классификация, основанная на следующих основных положениях стандартов:

- весь сортамент профилей разделен на технологические группы с учетом принципов их калибровки и схем прокатки;
- каждая группа включает профили примерно одинаковой формы;
- симметрия профилей каждой группы должна быть одинакова (две оси симметрии, вертикальная ось симметрии, горизонтальная ось симметрии, ассиметричные профили);
- схема калибровки профилей одной группы имеет принципиальную общность;
- отношение ширины профиля к его высоте в каждой группе находится в определенных пределах.

Технологические группы подобных по форме профилей объединены в 16 классов и состоят из 43 технологических групп (табл. 1.1). Данная классификация не учитывает всех особенностей производства каждого профиля, но позволяет отнести вновь осваиваемый профиль к технологической группе и рекомендовать для него принципиальную схему калибровки.

Классификация фасонных профилей по технологическим группам и классам

Класс	Наименование класса профилей	Номера групп, входящих в класс
I	Полосовые с осями симметрии	1, 2
II	То же клиновидные	3 – 6
III	То же с отогнутыми краями	7
IV	То же с утолщениями на краях	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

Форма сечения и взаимное расположение отдельных элементов профиля должны быть аналогичны форме сечения и взаимному расположению составных элементов рассматриваемой группы профилей. Элементы профиля рассматриваются в первую очередь по их расположению относительно осей симметрии профиля, который может иметь одну или две оси симметрии.

Кроме классификации по технологическим признакам производства, фасонные профили в зависимости от условий их применения разделяют на две основные группы: 1 – профили, используемые как отдельные детали машин и механизмов; 2 – профили, которые используются в сопряжении с другими профилями или деталями. К профилям второй группы предъявляют повышенные требования с точки зрения конфигурации и размеров тех элементов, которые работают в сопряжении.

1.2. Элементы калибровки валков

Выбор схемы прокатки и расчет калибровки валков в первую очередь зависят от прокатываемого профиля, типа стана и характеристик его основного и вспомогательного оборудования, качества металла и целого ряда других факторов. Правильно спроектированная калибровка должна обеспечивать выполнение следующих требований:

- получение профиля с заданными размерами и качеством поверхности;
- высокую производительность стана с минимальными затратами энергии и расхода валков;
- минимальные внутренние напряжения в готовом профиле;
- формирование требуемого комплекса физико-механических свойств;
- обеспечение простой и удобной работы на стане, максимальной степени механизации и автоматизации технологического процесса;
- создание рациональных монтажных схем валков для прокатки профилей всего сортамента из исходных заготовок минимального количества типоразмеров с минимальными затратами времени на перевалку и настройку валков.

В процессе работы перед калибровщиком могут быть поставлены различные задачи.

1. Разработка калибровки валков для нового стана, на новых валках или для нового профиля.
2. Создание калибровки и размещение калибров на валках стана для прокатки с минимальными затратами нового профиля.
3. Построение калибров для прокатки профиля, геометрически подобного существующему профилю, но отличающегося от него размерами.
4. Корректировка калибров для имеющегося профиля, но из другого металла.
5. Построение черновых и промежуточных калибров таким образом, чтобы они позволяли прокатывать профили нескольких размеров.

В методологии проектирования калибровок фасонных профилей можно выделить два направления, основные принципы которых различны. Для первого направления характерно превалирование расчетной части. С этой целью стремятся создать точные методы расчета формоизменения металла для определенных типовых калибров. Однако сложная форма калибров с большим числом отдельных элементов, меняющиеся условия прокатки и формоизменения, а также отсутствие достаточно надежных методов расчета могут создавать отклонения фактических размеров раската, соизмеримые по величине со значениями параметров формоизменения (уширение и утяжка). Это приводит к необходимости использовать приемы, позволяющие компенсировать ошибки расчетов. Как правило, смысл этих приемов состоит в ограничении уширения, а величина утяжки принимается

большей по сравнению с фактической. В результате имеет место повышенный износ и увеличенное число фасонных калибров.

Второе направление предусматривает применение такой схемы прокатки, которая допускает простую регулировку размеров и удобную настройку валков в процессе освоения или прокатки фасонного профиля.

Большое значение при прокатке имеет упругая деформация (отдача) валков. В тех случаях, когда есть возможность упругую деформацию компенсировать путем установки зазора, этим явлением можно пренебречь. В иных случаях упругая деформация непременно должна учитываться: например, когда в валках рядом расположены калибры, предназначенные для большого и малого обжатия. В этом случае величина упругой деформации может оказаться соизмеримой с величиной обжатия, и поэтому калибры со значительным отличием по величине обжатия не должны располагаться рядом.

Зазор между валками предназначен для компенсации изменения размеров калибров, вызванного упругой деформацией, а также износом калибра и деталей стана. Зазор должен учитываться при расточке валков и всегда обозначается на монтажных чертежах валков.

Чтобы не уменьшалась точность размеров раската, зазор не должен быть большим, однако при холостом ходе, во избежание выкрашивания буртов, поломки шеек или муфт, не должно допускаться соприкосновение валков по буртам.

Калибры по способам вреза в валки делятся на открытые и закрытые. Если линия разъема валков находится вне пределов калибра, такой калибр называют *закрытым*. В противном случае калибр называют *открытым*. Такая классификация во многом является условной и не учитывает процесс деформации в калибре. На рис. 1.1 представлены три разновидности калибров, применяемых при прокатке швеллеров. Калибр, представленный на рис. 1.1, б, называют *полузакрытым*. Два других калибра называют закрытыми, однако по конструкции и характеру формоизменения металла они совершенно разные.

Характерной особенностью прокатки в фасонных калибрах является появление (наряду с прямым обжатием) бокового обжатия, которое возникает при больших углах наклона боковых стенок. В открытых ручьях калибра боковое обжатие препятствует утяжке металла; в закрытых ручьях калибров, наоборот, боковое обжатие способствует утяжке металла. Экспериментально установлено, что утяжка не обжимаемых частей металла примерно пропорциональна корню квадратному из коэффициента вытяжки ($\sqrt{\mu}$). Для нормаль-

ной работы и заполнения закрытого ручья калибра соответствующий элемент исходного раската должен проникать в него без бокового обжатия на глубину не менее $2/3$ глубины ручья с наличием обязательного прямого обжатия.

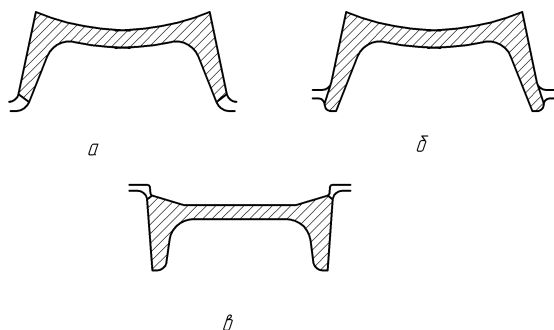


Рис. 1.1. Типы калибров для прокатки швеллеров

1.3 Проектирование калибровки валков

При расчете калибровки валков исходят из размеров профиля в холодном состоянии с учетом установленных стандартами или техническими условиями допускаемых отклонений и коэффициента термического расширения металла. Расчет калибровки выполняют против хода прокатки. тавтология

При расчете уширения (особенно в *развернутых* калибрах) из-за отсутствия приемлемых зависимостей для определения формоизменения металла используют зависимости, полученные для условий прокатки на гладких валках или в калибрах простой формы. Однако при прокатке в фасонных калибрах характер формоизменения значительно отличается. Формоизменение может происходить со стесненным или вынужденным уширением. При косом расположении калибров уширение может быть даже отрицательным. Поэтому при расчете калибровки валков на практике иногда сознательно применяют завышенное стеснение уширения, чтобы избежать ошибки в определении величины уширения, которая может быть рассчитана только приближенно.

В калибровках валков наряду с калибрами со стесненным уширением часто используются калибры, создающие вынужденное уширение. Примером могут служить *разгонные* калибры для прокатки широких полос (рис. 1.2).

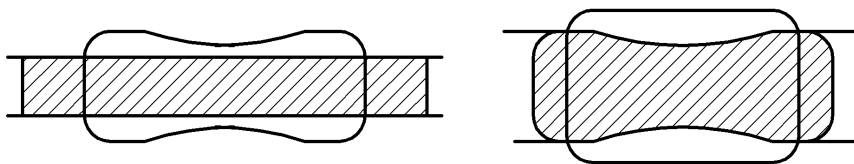


Рис. 1.2. Разгонные калибры для прокатки широких полос

Калибровку фасонного профиля, не имеющего аналога среди основных профилей, проектируют в приведенной ниже последовательности.

1. Исходя из технических возможностей стана, сложности профиля, его размеров, требования точности и марки стали, а также на основании результатов анализа прокатки подобных по сложности и размерам профилей принимают принципиальную схему прокатки и число фасонных калибров.

2. На основании конфигурации сечения и необходимой точности элементов профиля намечают места разъемов и тип чистового калибра. Если к боковым граням профиля не предъявляется жестких требований, калибр может быть открытым. В противном случае калибр должен быть закрытым.

3. Размеры чистового калибра определяют с учетом коэффициента термического расширения и минусовых допусков на основные размеры. Зазоры между валками принимают с учетом упругой деформации клетки и удобства настройки валков.

4. Форму и размеры предчистового калибра проектируют исходя из принципа равномерной деформации по ширине в чистовом калибре:

а) чистовой калибр разбивают по ширине на n характерных вертикальных сечений и в каждом i -м сечении определяют высоту калибра $h_{i,i}$;

б) на основании практических данных или технологических соотношений принимают значение коэффициента обжатия $1/\eta$ в чистовом калибре (обычно $1/\eta = 1,05 \dots 1,25$);

в) рассчитывают высоту характерных вертикальных сечений для предчистового калибра $h_{i+1} = h_i \cdot 1/\eta$ и после этого обжатие $\Delta h_i = h_{i+1} - h_i$;

г) определяют контуры предчистового калибра:

– для профилей с горизонтальной осью симметрии или близких к ним значение обжатия по характерным вертикальным сечениям распределяют поровну вверх и вниз от контура чистового калибра;