



УЧЕБНИК
СИБИРСКОГО
ФЕДЕРАЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА

И. Л. Константинов
С. Б. Сидельников

ТЕХНОЛОГИЯ КОВКИ

УДК 621.73(07)
ББК 34.623.2я73
К650

Рецензенты:

Г. А. Орлов, доктор технических наук, профессор кафедры обработки металлов давлением Уральского федерального университета;

И. М. Володин, доктор технических наук, профессор кафедры оборудования и процессов машиностроительных производств Липецкого государственного технического университета

Константинов, И. Л.

К650 Технологияковки : учебник / И. Л. Константинов, С. Б. Сидельников. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2020. – 216 с.
ISBN 978-5-7638-4156-5

Даны основные положения технологииковки металлов. Рассмотрены вопросы об исходных материалах и режимахковки, описаны операции, входящие в технологический процессковки на молотах и прессах, полученияпоковок и заготовок на специализированных машинах, отделочные операции, а также контрольпоковок и перспективы развития кузнечно-штамповочного производства.

Предназначен для магистрантов направления подготовки 22.04.02 «Металлургия» укрупненной группы 220000 «Технологии материалов».

Электронный вариант издания см.:
<http://catalog.sfu-kras.ru>

УДК 621.73(07)
ББК 34.623.2я73

ISBN 978-5-7638-4156-5

© Сибирский федеральный
университет, 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
Г л а в а 1. КРАТКАЯ ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ КОВКИ.....	7
Г л а в а 2. ВИДЫ ЗАГОТОВОК И ИХ ПОДГОТОВКА К КОВКЕ	13
2.1. Виды заготовок для ковки	13
2.2. Подготовка исходных материалов для ковки	20
2.3. Термический режим ковки	30
2.4. Способы нагрева заготовок перед ковкой	34
2.5. Влияние ковки и штамповки на структуру и механические свойства металлов	44
Г л а в а 3. ОПЕРАЦИИ КОВКИ.....	50
3.1. Сущность процесса ковки	50
3.2. Предварительные операции ковки	53
3.3. Основные операции ковки.....	61
3.4. Вспомогательные операции ковки	103
3.5. Отделочные операции ковки.....	106
3.6. Завершающие операции ковки.....	110
Г л а в а 4. ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА КОВКИ.....	122
4.1. Порядок составления технологического процесса ковки.....	122
4.2. Составление чертежа поковки и определение ее массы.....	123
4.3. Расчет массы и размеров исходной заготовки.....	130
4.4. Определение необходимого уклона и выбор типа заготовки	134
4.5. Выбор кузнечных операций, последовательности их выполнения, оборудования для ковки и определение состава рабочей бригады	137
4.6. Подсчет коэффициентов, характеризующих использование металла при ковке	140

4.7. Расположение оборудования в производственных отделениях для ковки	141
4.8. Типовые процессы ковки основных видов поковок	143
Глава 5. ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ МАШИННОЙ КОВКИ	152
5.1. Основной технологический инструмент	152
5.2. Поддерживающий инструмент и приспособления для машинной ковки	160
5.3. Посадочные клещи и приспособления	164
5.4. Особенности изготовления и эксплуатации кузнечного инструмента	166
5.5. Контрольно-измерительный инструмент в кузнечном производстве	168
Глава 6. ВИДЫ КОВКИ.....	174
6.1. Фасонная ковка.....	174
6.1.1. Фасонная ковка на молотах	174
6.1.2. Фасонная ковка на прессах	179
6.2. Секционная ковка и штамповка	181
6.3. Радиальная ковка.....	184
6.4. Автоматизированные ковочные комплексы	187
Глава 7. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КОВКИ.....	194
7.1. Задачи компьютерного моделирования в процессах обработки металлов давлением	194
7.2. Примеры компьютерного моделирования процесса ковки.....	197
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	207
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	208
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ.....	210

Глава 1

КРАТКАЯ ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ КОВКИ

Ковка – это вид обработки металлов давлением (ОМД), относящийся к кузнечно-штамповочному производству, которое в современной металлообрабатывающей промышленности является одним из основных способов изготовления заготовок и деталей. Ковкой перерабатывают 7–8 % выплавляемой в России стали, а изделия, полученные из кованных заготовок, отличаются высокой прочностью и ударной вязкостью.

Кузнечное дело считают древнейшим из ремесел после обработки камня, и его история начинается с железного века, когда первобытный человек впервые стал делать инструменты из железа. В это время люди заметили, что нагрев некоторых минералов до очень высокой температуры приводит к получению железа. Поэтому кузнечное дело очень долгое время оставалось основным способом обработки металла для создания оружия для защиты от зверей и врагов, а также орудий для мирного труда.

На территории нашей страны кузнечную обработку металлов, начиная с третьего тысячелетия до нашей эры, первыми стали применять скифы, населявшие среднюю и южную части страны. Позднее получение железа освоили уральские племена.

Прогресс в развитии кузнечного дела зависел от наличия топлива и железной руды. Это объясняется тем, что если на раннем этапе люди использовали железо, содержащееся в метеоритах, то позднее выяснилось, что железо можно получать из руды и горных пород красного цвета, причем чем насыщенней был цвет этих минералов, тем выше было в них содержание железа.

Основным топливом для выплавки железа служит древесный уголь, который в XVIII в. на металлургических заводах научились превращать в кокс сжиганием топлива при ограниченном доступе кислорода. Для выплавки железа использовали известняк или доломит, что повышало качество металла. Первые металлургические заводы располагались около больших запасов горных пород, содержащих руду, обработка которой не требовала больших усилий. Вблизи них должны были находиться запасы топлива и плавильных веществ, таких как известняк. Для вывоза готовых слитков железа заводы обычно строили рядом с судоходными водными путями.

Кованое железо содержит мало углерода, поэтому характеризуется высокой пластичностью и прекрасно поддается кузнечной сварке с получением прочного соединения между деталями. Многослойное железо было гораздо прочней, чем однослойное, и его применяли для изготовления пушек.

В течение долгого времени кузнецы искали способы получения более прочного металла и изобрели закалку стали. При этом они разработали различные способы изменения содержания углерода в железе, что расширило возможности его применения. В результате появились разные виды стали.

В Дамаске много веков назад был изобретен особый способ производства клинков, которые называются дамасскими. Тогда кузнецы научились посредствомковки объединять между собой три различных сорта железа. Процесс создания лезвия был очень сложным и длительным. Сталь складывалась в несколько слоев и ковалась, иногда количество слоев доходило до 192 и более. Дамасская сталь имеет сложную структуру, а поверхность каждого клинка является уникальной (рис. 1). Благодаря сочетанию трех сортов металла края лезвий становились очень острыми, долго не тупились, а точить их было просто. Дамасский меч представлял собой произведение искусства и мог стоять целого состояния.



Рис. 1.1. Рисунок на клинке из дамасской стали

В начале XVI века вместо ручнойковки в кузнечном деле стало применяться первое оборудование – механические рычажные молоты с массой падающих частей 70–150 кг, приводимые в движение энергией воды рек и озер. В местах, где нельзя было воспользоваться водной энергией, применялись также копровые, или пестовые молоты. Деталь, наносящую удар по заготовке таких молотов, называемую бабой молота, сначала поднимали 7–10 человек за канат, перекинутый через блок, а затем сразу отпускали. Баба молота падала и наносила удар по заготовке, которая после деформированияковки называется поковкой.

Бурное развитие металлургической и металлообрабатывающей промышленности вызвала промышленная революция XVIII в. Постройка

железных дорог, паровозов, вагонов, пароходов шла очень быстрыми темпами, требовала тяжелых и больших поковок, для изготовления которых было необходимо мощное деформирующее оборудование. Поэтому промышленная революция отразилась и на развитии ковочного производства.

Хотя англичанин Уатт еще в 1784 г. предложил применять для подвижных частей молота энергию пара, только в 1842 г. Джеймс Несмит построил первый паровой молот, основные черты конструкции которого сохранились до настоящего времени. Вначале это был молот простого действия, у которого энергия пара расходовалась только на подъем подвижных частей, а их опускание осуществлялось за счет свободного падения.

Паровой молот быстро совершенствовался, и давление пара в нем стали использовать не только для подъема бабы, но и для нанесения ударов по поковке. Для парораспределения и управления молотом были сконструированы золотниковая коробка и приспособления, позволяющие наносить автоматические удары. Такой молот называли молотом двойного действия.

С развитием машиностроения и увеличением размера и веса поковок повышался и вес падающих частей паровых молотов. В ряде стран были сооружены паровые молоты с массой падающих частей 50–100 т и выше. Так, в 1873 г. в России на Пермских пушечных заводах (ныне ПАО «Мотовилихинские заводы») был запущен в эксплуатацию самый крупный в мире на тот момент 50-тонный молот, названный «царь-молот». Этот молот предназначался дляковки стальных заготовок крупных орудийных стволов. Сооружение молота началось в 1869 г. с гидрогеологических исследований места для его установки. Достижением инженерного искусства того времени был не только сам молот, но и основание под него, являвшееся сложным техническим сооружением. Для работы молота была необходима чугунная наковальня (шабот) весом более 600 т, которую решено было изготовить цельнолитой непосредственно на месте установки молота. Под шабот и станину молота был вырыт котлован, после чего началось изготовление формы для литья шабота. Был создан целый металлургический цех с четырнадцатью вагранками, которые непрерывно в течение 27 ч залили в форму 620 т чугуна. Из-за своей огромной массы наковальня даже через месяц после изготовления имела температуру 700 °С, а ещё через месяц – всё ещё более 300 °С. Через четыре месяца форму разобрали и приступили к монтажу молота, который начал работать с февраля 1873 г. и находился в эксплуатации до конца 1916 г. До настоящего времени только ещё одна отливка в мире, тоже шабот в городе Триест (Италия), имеет больший вес–1000 т, но он был отлит позже пермского.

В 1877 г. во Франции фирмой Schneider-Creusot был построен молот с массой падающих частей 100 т и высотой падения 5 м. Как известно, Эйфель построил свою башню в 1887 г., т. е. через десять лет после ввода в строй этого парового молота. Предполагают, что формы этого гиганта

навеяли инженеру элегантную и необычную в архитектурном смысле, но вполне заурядную с технической точки зрения компоновку башни. Теперь молот установлен на постаменте в виде памятника (рис. 1.2).



Рис. 1.2. Молот «Шнейдер» в городе Ле-Крезо (Франция), бывший самым большим в мире в 1877–1891 гг.

Наконец, в 1891 г. американцы на заводе Вифлеемской компании сталелитейных заводов в штате Пенсильвания построили еще больший молот с подвижной частью в 113 т (рис. 1.3). Работа такого молота вызывала в округе настоящее землетрясение; он проработал всего два года и в 1893 г. из-за опасности обрушения помещения цеха был демонтирован. На этом производство гигантских молотов прекратилось, так как возникли большие проблемы в их эксплуатации. Сильные удары молотов вызывали сотрясения зданий цехов и почвы в окрестностях промышленных предприятий, что стало опасным для целостности окружающих строительных сооружений и самих молотов. Им на смену пришли гидравлические ко-

вочные прессы. Паровые молоты малой мощности продолжали совершенствоваться и широко применяться в различных отраслях промышленности на протяжении второй половины XIX в., используются они и в настоящее время. Современный паровой молот оснащен механизмом для нанесения единичных и автоматических ударов, который приводится в действие и паром, и сжатым воздухом.

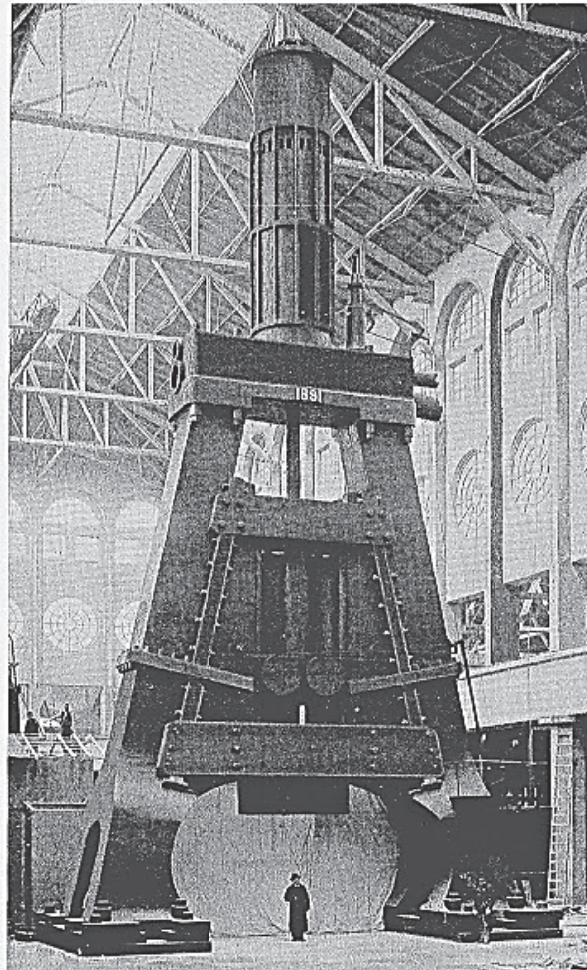


Рис. 1.3. Паровой молот Вифлеемской сталелитейной компании, 1891 г.

В конце XIX в. появились гидравлические прессы. В Петербурге и на Урале были построены крупные кузнечные цехи. Но к началу XX в. развитиековки в России отставало от передовых стран Западной Европы

и США. После Октябрьской революции отечественное кузнечное производство стало стремительно развиваться, особенно в годы индустриализации. В результате были построены крупные цехиковки в Екатеринбурге, Новокузнецке и в ряде других городов. После Великой Отечественной войныковка в нашей стране получила дальнейшее развитие. Интенсивно проводилась механизация операцийковки за счет использования ковочных манипуляторов, что позволило резко увеличить производительность труда и улучшить условия труда. В последнее время уделяется большое внимание внедрению на участках машиннойковки автоматизированных ковочных комплексов.

Русские ученые, машиностроители и изобретатели внесли крупный вклад в теорию и практику ковочного производства и кузнечного оборудования. Российских ученых Д. К. Чернова и С. И. Губкина считают создателями современной теории обработки металлов давлением и теории кузнечных машин. Большой вклад в теорию кузнечного производства внесли отечественные ученые И. М. Павлов, М. В. Сторожев, Е. И. Семенов, Я. М. Охрименко и др.

Контрольные вопросы и задания

1. В чем заключалась технология производства дамасских клинков?
2. Что послужило толчком к бурному развитию металлургической и металлообрабатывающей промышленности?
3. По какой причине было прекращено производство гигантских молотов?
4. Перечислите российских ученых, внесших крупный вклад в теорию и практику ковочного производства.

Глава 2

ВИДЫ ЗАГОТОВОК И ИХ ПОДГОТОВКА К КОВКЕ

2.1. Виды заготовок дляковки

Основным материалом дляковки является сталь, у которой режимы горячей деформации зависят от химического состава и особенностей технологии приготовления. Мало- и среднеуглеродистые стали, а также низко- и среднелегированные стали способны подвергаться осадке в широком интервале температур со степенью деформации до 80 %, поэтому их относят к высокопластичным металлическим материалам. Высокоуглеродистые и высоколегированные стали допускают деформацию при осадке до 60 % и являются материалами средней пластичности. Однако пластичность сталей зависит не только от содержания углерода и легирующих элементов, но и металлургической природы металла, определяемой его макроструктурой, степенью химической неоднородности, количеством и формой неметаллических включений и окисных пленок, а также газонасыщенностью.

В качестве заготовок дляковки используют слитки и сортовой прокат. Кузнечные слитки отливают, как правило, из спокойных марок стали, раскисление которых проводили марганцем, кремнием или алюминием. Литые слитков производят сверху в изложницы с полостями, имеющими форму усеченной пирамиды и поперечное сечение в виде шести-, восьми- или двенадцатиугольника (рис. 2.1). Такая форма слитков обеспечивает оптимальные условия кристаллизации металла для формирования требуемой структуры и свойств получаемых поковок. При ковке прибыльную 1 и донную 3 части слитка удаляют, а дальнейшие операцииковки проводят с оставшейся частью, которую называют телом слитка.

Дляковки применяют слитки как обычной формы (рис. 2.2), так и с отклонениями от нее: удлиненные, укороченные, с уменьшенной прибыльной частью и др.

Наибольшее распространение в кузнечном производстве получили слитки традиционной конфигурации, состоящие из прибыльной, центральной и донной частей (рис. 2.1). Донная часть служит для поглощения энергии падающей струи металла при заливке сверху. Такие слитки характеризуются малой конусностью от 2 до 5 %, отношением длины слитка L_k

его среднему диаметру $D_{\text{ср}}$ в пределах 1,5–2,5, относительным объемом металла в прибыли на уровне 18–20 % и относительным объемом донной части около 3–7 %.

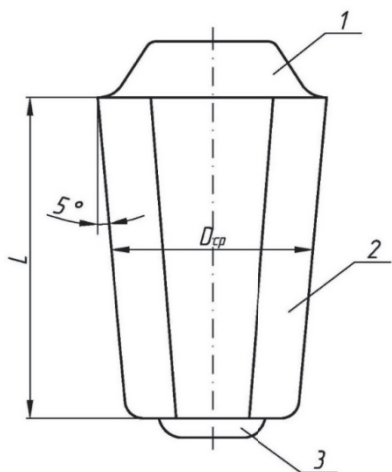


Рис. 2.1. Схема стального слитка: 1 – прибыльная часть; 2 – тело слитка; 3 – донная часть



Рис. 2.2. Стальные кузнечные слитки

Однако узкая номенклатура традиционных слитков приводит при производстве крупных поковок к снижению выхода годного из-за большого остатка металла. Ограниченный выбор массы кузнечных слитков способ-

ствуется тому, что отходы металла при ковке составляют порядка 30–40 %. Причем с увеличением единичной массы поковки коэффициент расхода металла на ее производство возрастает. Кроме того, получение длинномерных поковок, например валов, из нормальных прибыльных слитков ($L/D_{\text{cp}} = 2,0\text{--}2,5$) сопряжено с большой трудоемкостью процессаковки, а именно, необходимостью проведения протяжки заготовки большого диаметра до требуемых размеров поковки. При этом увеличивается число промежуточных нагревов заготовки, что также повышает общие затраты на производство.

Следует отметить, что оптимизация геометрических размеров слитков традиционной конструкции обычно осуществляется по критерию обеспечения плотности и сплошности осевой зоны тела слитка. Достаточно часто наблюдается, что при минимальной физической неоднородности металла в слитке присутствует и значительная химическая неоднородность, приводящая при больших уковах для длинномерных поковок к разности механических свойств по концам заготовок, а также к снижению их в поперечном направлении. Более того, в отдельных случаях наблюдается выход узких участков внецентренной ликвации, называемых шнурами, на поверхность изделия.

Описанное объясняет необходимость создания специальных конструкций слитков, позволяющих обеспечивать необходимые свойства изделий с максимальным выходом годного металла при минимальных трудозатратах.

Укороченные слитки имеют отношение $L/D_{\text{cp}} = 0,8\text{--}1,5$ (меньше критического) и завершают кристаллизацию в вертикальном направлении. Эти слитки отличаются от слитков традиционной конфигурации протяженностью и формой осевой зоны вертикального затвердевания, которая простирается в наиболее распространенных в заводской практике укороченных слитках вплоть до верхней границы тела, что указывает на предельно высокую направленность их затвердевания в сторону прибыли. Очевидно, что чем меньше отношение L/D_{cp} в укороченных слитках по сравнению с критическим, тем значительно больше вертикальное затвердевание опережает горизонтальное и, следовательно, тем больше относительная ширина осевой зоны вертикального затвердевания.

При относительном объеме металла в прибыли 22–25 % выход годного из этих слитков при ковке с применением осадки повышается до 60 %. Дополнительное уплотнение осевой зоны достигается увеличением конусности слитков, так как возрастает направленность затвердевания слитка к прибыли и уменьшаются усадочные перемещения металла в процессе кристаллизации.

Особенностями укороченных слитков с повышенной конусностью является уменьшение зоны осевой V-образной ликвации и возрастание

плотности по сравнению со слитками обычной конфигурации одинаковой массы. Эта благоприятная особенность сохраняется и в слитках массой более 100 т.

Однако с уменьшением отношения L/D_{cp} ниже 1,5 в слитках с большой конусностью возрастает их толщина, что увеличивает время затвердевания и ведет к расширению зоны внеосевой неоднородности. Внецентренная ликвация в слитках, отливаемых в вакууме, выражена сильнее. Ликвационные шнуры возникают в теле слитка вблизи низа и края слитка, а при небольшом перегреве металла в глубоком вакууме – в самом углу у основания слитка.

Удлиненные слитки, которые характеризуются величиной отношения L/D_{cp} на уровне 3,5–5,0 и более, также получили применение в кузнечном производстве. Их используют для изготовления удлиненных полых поковок методом протяжки. В ряде случаев такие слитки применяют для изготовления сплошных поковок, которые разрубают на части и подвергают дальнейшей ковке с применением осадки. Из удлиненных слитков изготавливают коленчатые, турбинные и гребные валы, а также турбинные диски, валки для холодной прокатки и другие изделия.

Объем прибыльной части слитков, предназначенных для полых заготовок, обычно составляет 10–12 %. Если слиток предназначен для сплошных заготовок, этот объем увеличивается до 14–15 %. Из-за относительно малой продолжительности затвердевания удлиненные слитки отличаются высокой химической однородностью. В то же время эти слитки характеризуются развитой осевой рыхлостью, являющейся следствием завершения процесса их затвердевания в горизонтальном направлении.

Увеличение конусности у этого типа слитков, которую им придают с целью усиления направленности затвердевания в сторону прибыли, не приводит к полному устранению осевой рыхлости. Поэтому целесообразнее использовать эти слитки для изготовления полых заготовок, когда рыхлая осевая зона удаляется при прошивке и не имеет такого решающего значения для их качества, как при изготовлении сплошных заготовок.

Применение удлиненных слитков выгоднее, чем слитков укороченного типа, так как выход годного достигает 75–78 %, а затраты машинного времени сокращаются примерно на 25 % за счет сокращения количества выносов и уменьшения продолжительности операцийковки.

Развитием концепции удлиненных слитков является создание сдвоенных и ступенчатых слитков, для производства которых обычно используются традиционные изложницы, составленные из двух полуформ с прямой и обратной конусностью. При этом полуформами служат обычные, применяемые на предприятии, многогранные изложницы. Сборка изложниц производится путем соосной установки одной полуформы на другую и сопряжения их со стороны максимальных внутренних диамет-

ров. Сборная изложница и двойная величина конусности граней не изменяют схему извлечения слитка.

К преимуществам сдвоенных слитков следует отнести возможность увеличения их высоты, а значит и отношения $L/D_{\text{ср}}$, примерно в два раза при сохранении прежней разности между максимальным и минимальным диаметрами слитка.

Сдвоенные слитки имеют в теле узкую усадочную раковину, размеры и форма которой зависят от ряда факторов. Среди них – геометрия слитка и тип головной части, марка стали, некоторые технологические условия разливки жидкого металла. В свою очередь, от формы усадочной раковины зависят размеры части слитка, годной для получения поковки.

Для машиностроительного производства часто требуются крупногабаритные детали, имеющие различный диаметр на противоположных торцах. Так, валы, водила, поршни, дорны и другие детали имеют существенное различие (в 1,5–2,0 раза) поперечных сечений на концах. При изготовлении данных деталей из традиционного слитка последний подбирается исходя из наибольшего сечения заготовки. Тогда тонкий ее конец отковывается с повышенным уклоном, что увеличивает трудоемкость изготовления и может привести к снижению служебных свойств металла в поперечном направлении. Для производства подобных изделий с переменным по длине сечением применяют ступенчатые слитки, отливаемые в составные из двух полуформ изложницы с разным сечением внутренней полости.

В ряде случаев для получения полых изделий с удаляемой сердцевиной используются бесприбыльные слитки или слитки с уменьшенной массой прибыли. Слитки с уменьшенным объемом металла в прибыли (до 6–12 %) получают в изложницах для слитков обычной конфигурации посредством неполного заполнения прибыльной надставки жидким металлом. С уменьшением высоты налива металла в прибыли глубина усадочной раковины увеличивается, и она проникает в тело слитка. Применение слитков с уменьшенной прибылью позволяет получать экономно удельного расхода металла в среднем до 30 % при ковке полых изделий малой и средней массы методом протяжки и до 50 % при ковке изделий средней и большой массы с применением осадки и прошивки.

На практике использование малоприбыльных слитков большой массы осложняется тем, что при сокращении объема прибыльной части их извлечение из изложниц затруднено из-за невозможности использования специальных приспособлений, применяемых с целью захвата за прибыльную часть, поэтому такие слитки извлекаются путем вытряхивания. При этом возможно преждевременное разрушение изложниц из-за сколов на внутренней части их верхнего торца.

Дляковки поковок с отверстиями отливают полые слитки, что позволяет устранять операцию прошивки. Такие слитки получают методом

центробежного литья в изложницы с холодильниками. Размеры полых слитков несколько меньше, чем обычных слитков, и имеют соотношение $L/D_{\text{ср}} = 1,25$. Важным условием кристаллизации, обеспечивающим хорошее качество полых слитков, является отношение $L/\delta \approx 4$ (где δ – толщина стенки полого слитка). Преимуществами полых слитков являются меньшая продолжительность нагрева перед ковкой и то, что слитки не имеют осевой рыхлости и внецентренной ликвации.

В последнее время отмечается тенденция к росту количества изделий, изготавливаемых из слитков массой 100–200 т, а также успешно осваивается выпуск уникальных поковок из 300–400-тонных стальных слитков. Крупный кузнечный слиток востребован как в отечественном машиностроении, так и на мировом рынке металлопродукции, так как обеспечивает выпуск продукции с высокой добавленной стоимостью, которая увеличивается от слитка к поковке и готовому изделию.

Для обеспечения эффективного производства таких слитков необходимо иметь специальное транспортное оборудование, большой парк изложниц в широком диапазоне типоразмеров, поддонов и пр. Анализ производства стальных слитков показывает, что их доля с массой более 10 т составляет примерно 5–7 % от общего количества, однако на их изготовление уходит около трети всех производственных затрат вследствие высокой трудоемкости. Поэтому производство крупных кузнечных слитков, как правило, организуют в специализированных сталеплавильных цехах. При этом широкие возможности в достижении конкурентоспособных показателей открываются лишь при условии индивидуального и взвешенного подхода к организации современной системы технологии производства крупного кузнечного слитка с учетом особенностей модернизируемого производства.

Опыт показывает, что эффективная работа по производству крупных слитков возможна на базе электросталеплавильного мини-завода, приспособленного под выпуск специализированной продукции, согласно стратегии гибкого производства. Такой подход позволяет успешно конкурировать в условиях как современного рынка металлопродукции в целом, так и сегмента стальных слитков в частности. При этом на международном рынке крупных кузнечных слитков можно выделить следующие основные тенденции:

- повышение требований к качеству, служебным и весовым характеристикам продукта;
- выполнение заказов точно в срок при соблюдении индивидуальных требований заказчиков, которые часто выражаются в разделении заказа на мелкие партии продукции и ужесточении условий поставки;
- рост потребности в слитках из специальной стали и со специальными свойствами.

Не менее важным аспектом, без которого производство крупных кузнечных слитков невозможно реализовать, является наличие в стране предприятий энергетического, транспортного и тяжелого сектора машиностроения, которые формируют достаточно емкий и относительно стабильный внутренний рынок.

Масса уникальных кузнечных слитков может достигать 500 т. Такие слитки производят только несколько заводов в мире, в числе которых ОАО «Ижорский завод», Cobe Steel, Japan Steel Works и др. Так, на предприятии «ОМЗ-Спецсталь» был отлит кузнечный слиток массой 443 т (рис. 2.3), предназначенный для изготовления тяжелого опорного валка стана 5000. Размеры валка: диаметр – 2,36 м, длина –12 м при общем весе около 225 т. Для изделий из легированных сталей слитки имеют меньшую массу.

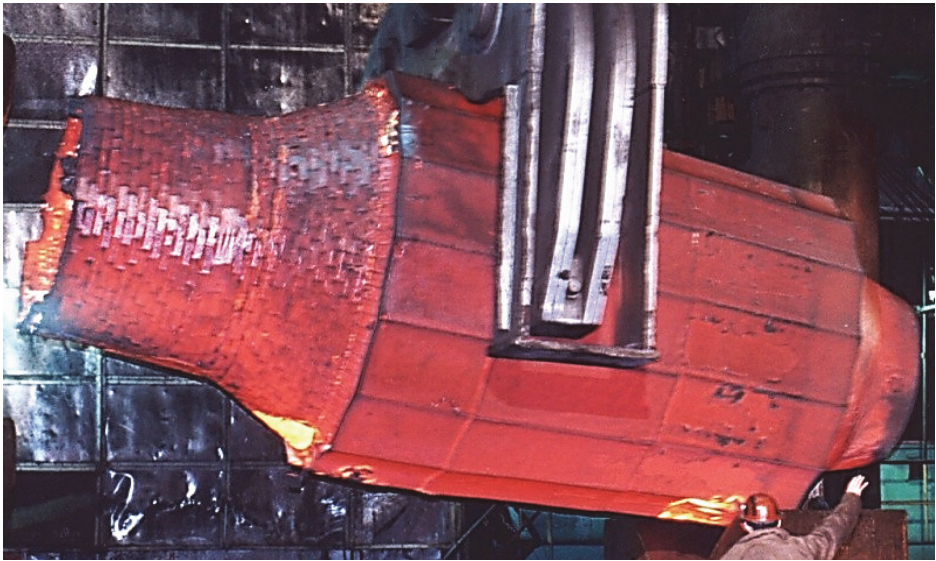


Рис. 2.3. Слиток массой 443 т производства «ОМЗ-Спецсталь»

Кроме сталей ковке подвергают и деформируемые алюминиевые, магниевые, медные, титановые сплавы, а также жаропрочные сплавы, основными легирующими элементами последних являются железо, хром, никель, вольфрам, молибден, ниобий, ванадий и др. Заготовками дляковки цветных металлов и сплавов обычно служат прессованные или катаные прутки и слитки.

Слитки из алюминиевых и магниевых сплавов отливают полунепрерывным литьем. Слитки из медных сплавов получают как литьем в водоохлаждаемые изложницы, так и полунепрерывным литьем. В производстве

полуфабрикатов из титана и его сплавов используют круглые слитки диаметром 350–950 мм и массой от 0,5 до 15 т, полученные методом вакуумной дуговой плавки с расходуемым электродом в медном водоохлаждаемом кристаллизаторе. На рис. 2.4 представлены титановые слитки.



а



б

Рис. 2.4. Титановый слиток после отливки (*а*) и товарные слитки (*б*)



а



б

Рис. 2.5. Стальной сортовой прокат круглого (*а*) и квадратного (*б*) сечения, применяемые дляковки

Для мелких кованных поковок в качестве заготовок применяют сортовой прокат, преимущественно круглого и квадратного сечения (рис. 2.5).

2.2. Подготовка исходных материалов дляковки

Способы разделки на заготовки слитков и проката различаются. Как уже отмечалось, обычные стальные слитки разделяют в процессе самойковки путем обрубки донной и прибыльной частей слитков специ-

альным инструментом – топором. Слитки дляковки из инструментальной и высоколегированной сталей чаще всего режут с помощью пил.

Для получения заготовок дляковки из катаного металла применяют такие способы, как резка на пресс-ножницах и кривошипных прессах, резка пилами и абразивами, ломка на хладноломах, газовая резка и другие виды.

Резка на пресс-ножницах и в штампах на кривошипных прессах является основным способом разделки исходного металла на заготовки в кузнечных цехах. Пресс-ножницы представляют собой эксцентриковые прессы различной конструкции, с помощью которых режут прутки диаметром от 15 до 150 мм. Схема резки прутка на пресс-ножницах представлена на рис. 2.6.

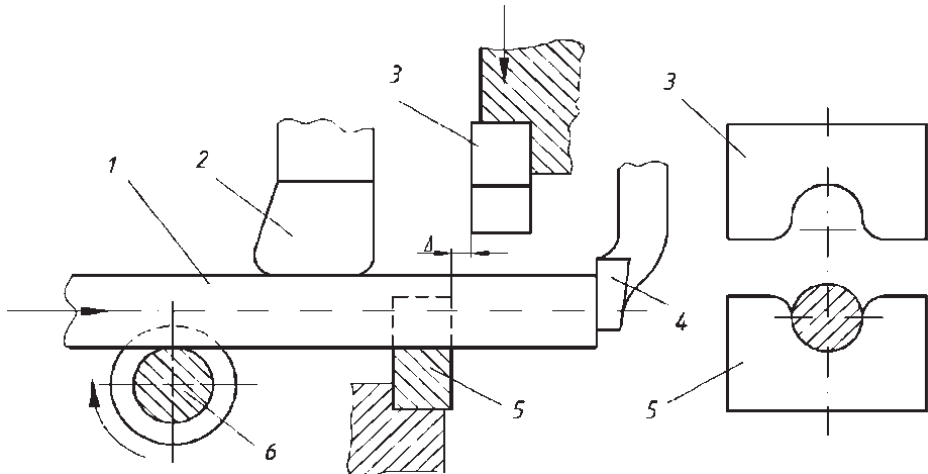


Рис. 2.6. Схема резки сортового проката на пресс-ножницах: 1 – заготовка; 2 – прижим; 3 – подвижный нож; 4 – регулируемый упор; 5 – неподвижный нож; 6 – рольганг

В конструкции пресс-ножниц подвижный 3 и неподвижный 5 ножи закреплены соответственно в гнездах ползуна и станины прессы. Длину заготовки в виде сортового проката, подаваемого к ножам по рольгангу, сначала регулируют упором 4, а затем фиксируют прижимом 2. Между ножами устанавливают зазор Δ , величина которого в зависимости от вида разрезаемого материала составляет 2–4 % от диаметра или толщины заготовки.

Ножи (рис. 2.7), применяемые при отрезке на ножницах, бывают одно- и многоручьевыми. Ножи первого вида могут быть цельными (рис. 2.7, а), со сменными вставками (рис. 2.7, б) и составными (рис. 2.7, в). Составные ножи применяют для отрезки заготовок от прутков квадратного профиля по диагонали, и стойкость их намного выше стойкости цельных.

Такие ножи обычно закрепляют в специальных державках. Ножи со сменными рабочими вставками позволяют экономить режущую инструментальную сталь, так как в них заменяют только изношенную вставку.

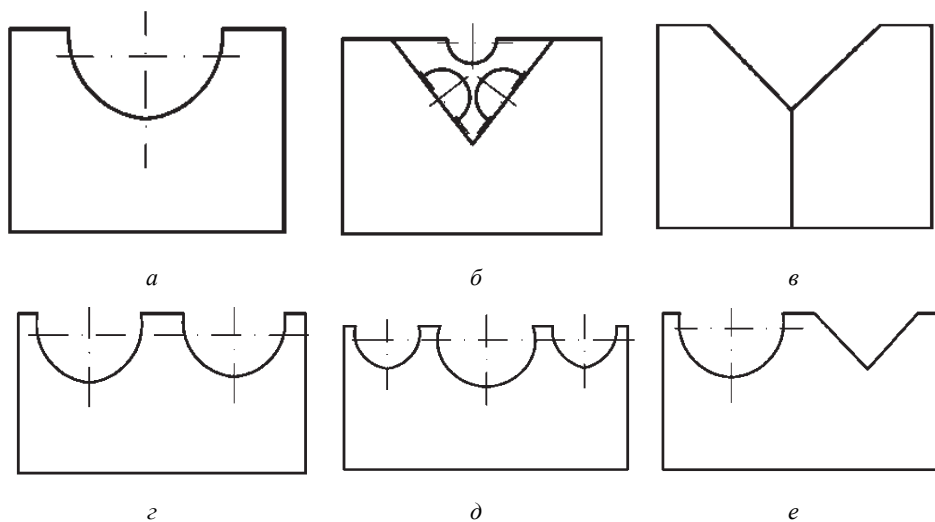


Рис. 2.7. Ножи, применяемые для резки сортового проката на ножницах:
а, б – одноручьевые цельные; в – одноручьевые составные; з–е – многоручьевые

Ручьи многоручьевых ножей могут быть одинаковыми (рис. 2.7, з) и разными по размерам (рис. 2.7, д) и форме (рис. 2.7, е). Применение многоручьевых ножей позволяет повысить производительность благодаря одновременной отрезке заготовок от нескольких прутков, а также от прутков различных сечений без перестановки ножей. Ножи изготовляют из инструментальных сталей марок 5ХГТ, 5ХГМ, 4ХС, 8ХЗ, У10 и подвергают их закалке и отпуску. После термообработки твердость режущей поверхности ручьев должна составлять $HV\ 445\text{--}515$.

В процессе резки принято различать три стадии. На первой стадии при вдавливании ножей в металл возникают упругие деформации, а в прилегающих к режущим кромкам ножей зонах наблюдаются смятие и последующая утяжка металла. Отжимаемая часть штанги отгибается вниз, а ее оставшаяся часть (если прижим не обладает большой жесткостью) поднимается. Эту стадию резки называют упругой.

На второй стадии, называемой пластической, ножи внедряются в металл и начинают перерезать его волокна. При этом в месте реза, как в верхней, так и в нижней частях отрезаемой заготовки, образуются блестящие поверхности в виде поясков. Внедрение в металл ножей сопровождается утяжкой соседних участков металла. Затем около режущих кромок ножей возникают растяжение и последующий разрыв волокон с образова-

нием трещин, являющихся результатом исчерпывания ресурса пластичности металла. Образующиеся трещины направлены наклонно вглубь металла.

На третьей стадии (разрушения) трещины движутся навстречу друг другу, встречаются, и при оптимальном зазоре происходит полное отделение заготовки – скалывание. После резки на торцевой поверхности заготовки видны характерные зоны, которые соответствуют трем стадиям резки (рис. 2.8).

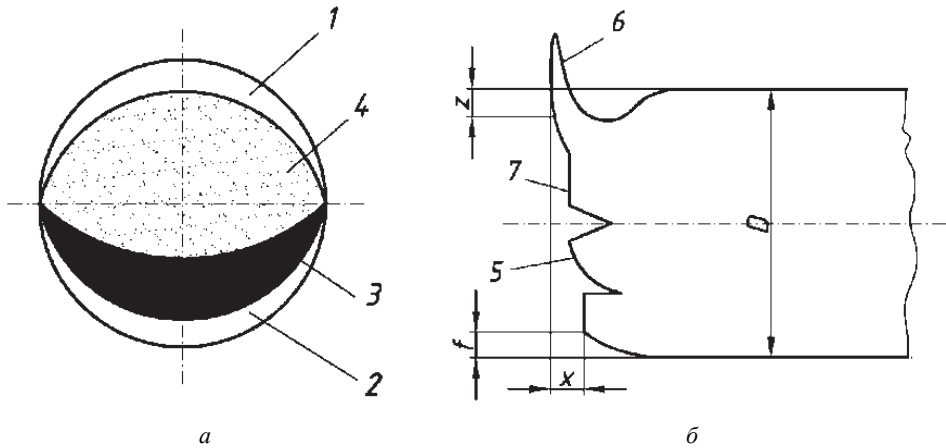


Рис. 2.8. Схемы торцевой поверхности отрезанной заготовки при нормальном (а) и увеличенном (б) зазорах: 1 – зона смятия металла; 2 – зона утяжки металла; 3 – зона внедрения ножей и среза металла; 4 – зона скола металла; 5 – торцевые трещины; 6 – заусенец; 7 – скол; D – диаметр заготовки; z – увеличенное смятие; x – косина среза сверх установленной нормы; f – увеличенная утяжка

Если после отрезки торцевая плоскость заготовки наклонена к ее оси под углом $2-3^\circ$, то это считается нормальным. Когда зазор между ножами меньше номинального, то трещины скола заходят друг за друга, образуя новый срез и второй блестящий пояс. Такой случай принято считать дефектом резки, который может приводить при ковке к образованию зажимов на поверхности поковок. При зазоре, превышающем оптимальную величину, на срезе образуются рваные заусенцы, которые также приводят к браку при ковочных операциях. Аналогичная картина наблюдается и при затуплении ножей.

Резку прутков можно осуществлять в холодном состоянии или с подогревом. Например, стальные прутки из низкоуглеродистой или низколегированной стали, имеющей временное сопротивление разрыву σ_b до 600 МПа и диаметр менее 150 мм, режут в холодном состоянии. Среднеуглеродистые и легированные стали из-за их пониженной пластичности режут с подогревом перед резкой до температуры $450-550^\circ\text{C}$. Это позво-