

3. ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ (ОМД)

Процесс *обработки металлов давлением (ОМД)* – это придание материалу требуемой формы, размеров и физико-механических свойств без нарушения его сплошности путём пластической деформации. Существенными достоинствами ОМД являются: возможность значительного уменьшения отхода металла (до 20–70 %) по сравнению с обработкой резанием; возможность повышения производительности труда, так как в результате однократного приложения усилия можно значительно изменить форму и размеры деформируемой заготовки; изменение физико-механических свойств металла заготовки в процессе пластической деформации, которое можно использовать для получения деталей с наилучшими служебными свойствами (прочностью, жёсткостью, сопротивлением износу и т. д.) при наименьшей их массе. Эти достоинства приводят к тому, что удельный вес ОМД в металлообработке неуклонно растёт. Совершенствование технологических процессов ОМД, а также применяемого для этих целей оборудования приводит к расширению номенклатуры деталей, изготавливаемых обработкой давлением, к увеличению диапазона деталей по массе и размерам, к повышению точности размеров полуфабриката, получаемого в результате ОМД.

Виды обработки металлов давлением

Процессы ОМД по назначению подразделяют на два вида:

- 1) для получения заготовок постоянного поперечного сечения по длине (прутков, проволоки, лент, листов и других профилей); основные разновидности – прокатка, прессование и волочение;
- 2) для получения заготовок, близких по форме и размерам к готовому изделию; основные разновидности – ковка и штамповка.

3.1. Теоретические основы обработки металлов давлением

Обработка металлов давлением основана на способности металлических материалов пластически деформироваться в результате воздействия внешних сил. *Деформацией* называется изменение форм и размеров тела под действием напряжений. Деформация, исчезающая после снятия нагрузки, называется *упругой*, а сохраняющаяся – остаточной, или *пластической*. При упругой деформации происходит обратимое смещение атомов из положений равновесия в кристаллической решётке. После снятия нагрузки сместившиеся атомы за счёт сил межатомного взаимодействия возвращаются в исходное равновесное положение, и кристаллы приобретают исходную форму и размеры. При пла-

стической деформации атомы смещаются друг относительно друга на расстояния больше межатомных и занимают новые устойчивые положения. Тело принимает новую форму и размеры. Процесс пластической деформации обычно представляет собой скольжение одной части кристалла относительно другой по кристаллографическим плоскостям и направлениям с более плотной упаковкой атомов (рис. 3.1). В таких условиях атомы не выходят из зоны силового взаимодействия, и деформация происходит без нарушения сплошности (без образования трещин и разрывов).

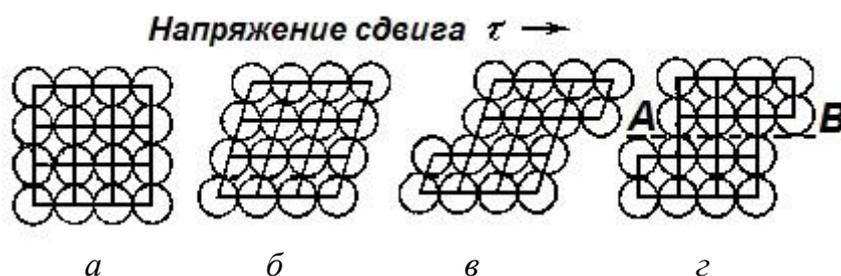


Рис. 3.1. Схема пластической деформации скольжением:
a – исходное состояние кристалла; *б* – упругодеформированное состояние;
в – упруго- и пластически деформированное состояние;
г – состояние после пластической (остаточной) деформации по плоскости *AB*

При пластической деформации поликристаллических тел кристаллиты (зёрна) меняют свою форму и ориентировку, образуя волокнистую структуру с преимущественной ориентировкой кристаллов. Зёрна деформируются и сплющиваются, вытягиваясь в направлении деформации (рис. 3.2).

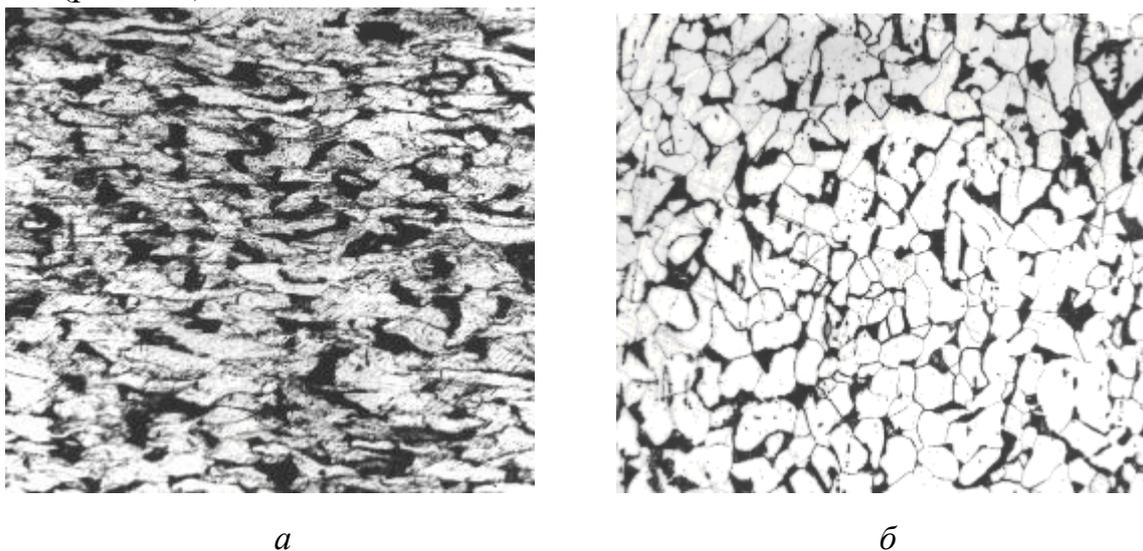


Рис. 3.2. Микроструктура металла:
a – после холодной деформации; *б* – в исходном состоянии

Преимущественная кристаллографическая ориентировка зёрен вдоль направления деформации называется *текстурой*. Образование текстуры приводит к появлению анизотропии свойств вдоль и поперёк направления волокон.

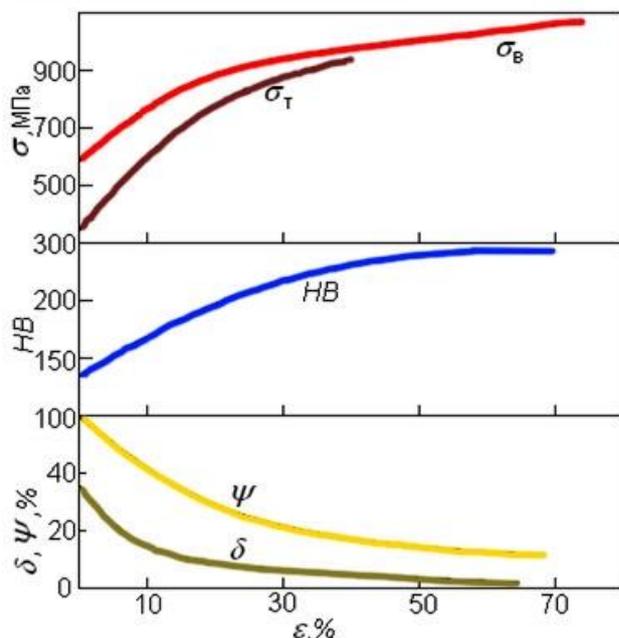


Рис. 3.3. Влияние степени пластической деформации на механические свойства низкоуглеродистой стали

С ростом степени деформации увеличивается число дефектов кристаллического строения в металле, что оказывает значительное влияние на механические и физико-химические свойства: механические свойства, характеризующие сопротивление деформации ($\sigma_{\text{в}}$, $\sigma_{\text{т}}$, $НВ$), повышаются, а свойства, характеризующие способность к пластической деформации (δ , ψ), падают (рис. 3.3).

Упрочнение металла под действием пластической деформации называется *наклёпом*. Если наклёпанный металл нагреть, т. е. сообщить

атомам дополнительную энергию, они получают возможность занять новые положения равновесия и построить новую кристаллическую решётку с гораздо меньшим количеством дефектов. Образование новых зёрен взамен деформированных называется *рекристаллизацией*. В результате рекристаллизации наклёп металла снимается, и свойства приближаются к исходным. Плотность дефектов кристаллического строения также уменьшается до первоначального уровня (рис. 3.4).

Абсолютная температура рекристаллизации для технически чистых металлов равна

$$T_p = 0,4 \cdot T_{\text{пл}}, \text{ К.}$$

Деформация при температурах ниже температуры рекристаллизации называется *холодной деформацией*; а при температурах выше T_p – *горячей деформацией* (новые зёрна образуются по всему объёму металла в ходе деформации). Таким образом, холодная деформация сопровождается наклёпом металла, а при горячей деформации одновременно идут упрочнение за счёт пластической деформации и разупрочнение при рекристаллизации.

При горячей деформации сопротивление деформированию примерно в 10 раз меньше, чем при холодной деформации, а пластичность резко возрастает, что позволяет добиваться больших степеней деформации с меньшими усилиями. Поэтому горячую деформацию целесообразно применять для изготовления крупных деталей, при обработке труднодеформируемых, малопластичных металлов и сплавов, а также заготовок из литого металла (слитков). Однако из-за образования слоя окисленного металла на поверхности – *окалина* – ухудшается качество поверхности и точность получаемых размеров, а также происходит *угар*

металла.

Холодная деформация позволяет достичь высокой точности и чистоты поверхности заготовки, а также управлять свойствами, создавая разную степень наклёпа.

Возможность пластического деформирования не безгранична. Основными факторами, влияющими на предельную величину пластической деформации, которой можно достичь без разрушения, являются механические характеристики металла, температурно-скоростные условия деформирования и схема напряжённого состояния.

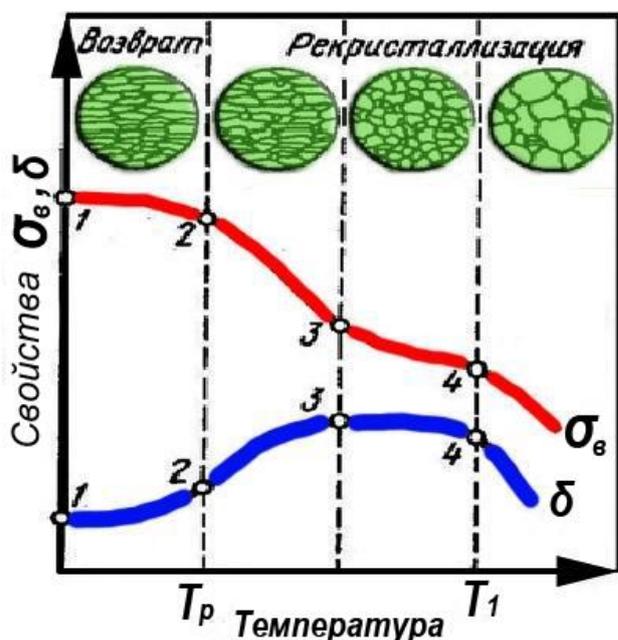


Рис. 3.4. Изменение структуры и свойств наклёпанного металла при нагреве: 1–2 – возврат, 2–3 – первичная рекристаллизация, 3–4 – вторичная рекристаллизация

в различных процессах и операциях обработки давлением различны, поэтому для каждой операции ОМД, для каждого металла и температурно-скоростных условий имеются свои предельные деформации.

3.1.1. Зависимость свойств деталей от направления волокон

Исходной заготовкой для начальных процессов ОМД (прокатки, прессования) является слиток. Если слиток загрязнён неметаллическими включениями, обычно располагающимися по границам зёрен, то в результате обработки давлением включения вытягиваются в виде прядей (*волокон*) по направлению наиболее интенсивного течения металла, придавая металлу волокнистое строение, которое при соответствующей обработке поверхности наблюдается невооружённым глазом (рис. 3.5).

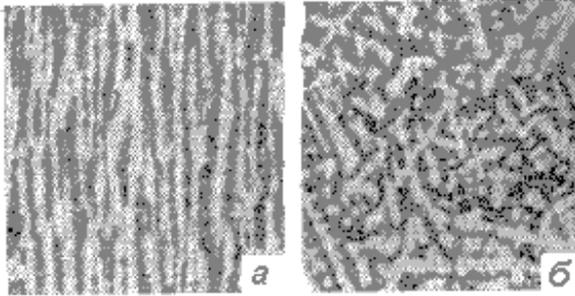


Рис. 3.5. Макроструктура металла:
 а – после обработки давлением;
 б – литой металл

Металл с явно выраженной волокнистой структурой характеризуется анизотропией механических свойств. Вдоль волокон механические характеристики (δ , Ψ , KC) выше, чем поперёк.

Так как направление волокон зависит от характера деформирования заготовки, желательно в готовой детали получить такое расположение волокон, при кото-

ром она имела бы наилучшие служебные свойства. Волокнистое строение не может быть разрушено термической обработкой и сохраняется даже при горячей деформации.

3.1.2. Нагрев металла под обработку давлением

Для проведения процессов горячей пластической деформации металл необходимо нагреть выше 0,65–0,75 от абсолютной температуры плавления для повышения пластичности и снижения прочности (рис. 3.6). Нагревать сталь до температур, близких к температуре плавления, нельзя, так как наступает *пережог*, выражающийся в окислении и оплавлении границ зёрен, нарушении связей между ними и, как следствие, полной потере пластичности. Пережог является неисправимым браком.

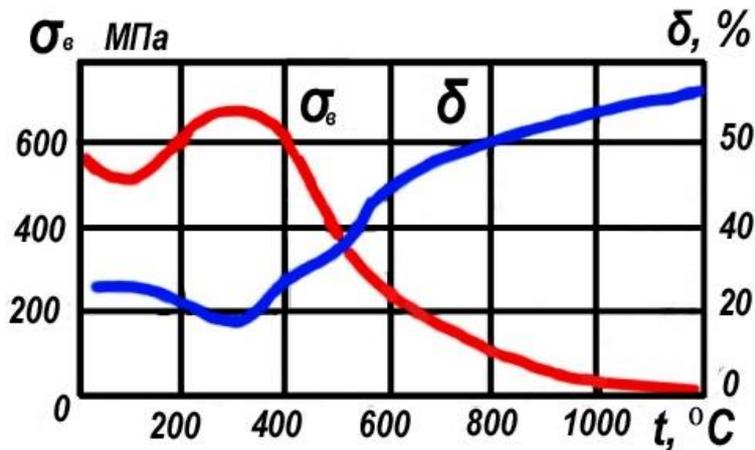


Рис. 3.6. Изменение механических свойств стали с 0,15 % С в зависимости от температуры

Ниже температуры пережога лежит зона перегрева. Явление *перегрева* заключается в резком росте размеров зёрен и, как следствие, снижении механических свойств деформированных изделий.

Брак по перегреву можно исправить отжигом. Таким образом, максимальную температуру

нагрева, т. е. температуру начала горячей обработки давлением, следует назначать такой, чтобы не было ни пережога, ни перегрева. Заканчивать горячую обработку давлением следует также при вполне определенной температуре. Если продолжать деформирование при бо-

лее низких температурах, металл упрочнится (рекристаллизация не успеет произойти), и вследствие падения пластичности в изделии могут образоваться трещины. Таким образом, каждый металл и сплав имеет свой строго определенный *температурный интервал горячей обработки давлением* (табл. 3.1).

Нагрев желательнее осуществлять с наибольшей скоростью, т. е. за как можно более короткое время. При этом в меньшей степени происходит рост зерна, снижаются отходы металла на угар (образование окислы за счёт взаимодействия с кислородом атмосферы печи), меньше углерода выгорает с поверхности стальных заготовок. Температура посадки металла в нагревательное устройство и скорость нагрева определяются его пластичностью и теплопроводностью в соответствующем температурном интервале.

Таблица 3.1

Температурный интервал горячей обработки давлением

Сплав	Температурный интервал, °С		Сплав	Температурный интервал, °С	
	Начало	Конец		Начало	Конец
Углеродистые стали: 10 45	1280 1200	750 800	Магниевые сплавы: МА1, МА2 МА5	420 390	300 280
Легированные стали: ШХ15 12Х18Н9Т 30ХГСА	1130 1150 1140	850 900 830	Медные сплавы: БрАЖМц10-3-1,5 ЛС60-1	900 820	750 700
Алюминиевые сплавы: Д1, АК8 АК4	470-440 470-420	400 350	Титановый сплав ВТ8	1100	900

В процессе нагрева возникает перепад температур между внутренними и наружными зонами заготовки, из-за чего появляются термические напряжения. Эти напряжения при недостаточной пластичности металла могут привести к возникновению трещин. Разность температур по сечению увеличивается с увеличением скорости нагрева, поэтому существует максимально допустимая скорость нагрева:

$$T = K \cdot D \cdot \sqrt{D},$$

где T – время нагрева, ч; D – диаметр или толщина заготовки, м; K – коэффициент, равный для углеродистой и низколегированной стали 12,5, для высоколегированной – 25.

Существенное значение имеет также и режим охлаждения готовых поковок. Слишком быстрое и неравномерное охлаждение может

привести к образованию трещин или к короблению вследствие термических напряжений. Чем меньше теплопроводность стали и чем массивнее и сложнее конфигурация изделия, тем медленнее должно быть охлаждение.

3.1.3. Нагревательные устройства

В современных процессах обработки металлов давлением нагрев заготовок осуществляют в пламенных и электрических печах, в установках контактного и индукционного электрического нагрева.

Нагрев в пламенных печах происходит за счёт лучеиспускания, конвекции и теплопроводности металла. В электрических печах сопротивления металл нагревается за счёт излучения тепла нагревательными элементами. В установках электроконтактного нагрева тепло выделяется при прохождении тока через нагреваемую заготовку, а в установках индукционного нагрева – вследствие действия вихревых токов. Основными видами топлива, используемого в пламенных печах, являются мазут и газ, причём газообразное топливо является наиболее прогрессивным. Жидкое топливо (мазут) сжигают с помощью форсунок, распыляющих топливо и обеспечивающих его хорошее смешивание с воздухом. Для сжигания газа применяют газовые горелки, которые служат для подачи газа и воздуха в печь и смешивания их в необходимых пропорциях.

Нагревательные печи бывают двух основных типов: камерные и методические.

Камерная печь. В камерной печи (рис. 3.7, а), разогретой до заданной температуры, заготовки 2 укладывают на поду 1 и после их прогрева извлекают через окно 4, через которое их загружали в печь. Рабочее пространство печи нагревается за счёт сжигания топлива с помощью форсунок или горелок 3. Продукты сгорания отводятся через дымоход 5.

Методическая печь (рис. 3.7, б). Рабочее пространство печи имеет несколько зон с различной температурой. Заготовки 2 проталкиваются с помощью толкателя 8 и, перемещаясь по поду печи 6, попадают сначала в первую подогревательную зону I (600–800 °С), затем в зону максимального нагрева II (1250–1350 °С), где установлены горелки 3. Зона III является зоной выдержки, в которой происходит выравнивание температуры по сечению заготовки. Горячие газы движутся навстречу перемещающимся заготовкам, которые выдаются из печи через окно 7.

Существенным недостатком нагрева в пламенных печах с обычной атмосферой является обезуглероживание поверхности стальных заготовок и высокий угар металла, что связано с большими потерями металла (до 3–4 % от общей массы нагреваемого металла за один цикл нагрева). Для уменьшения потерь металла применяют защитные атмосферы.

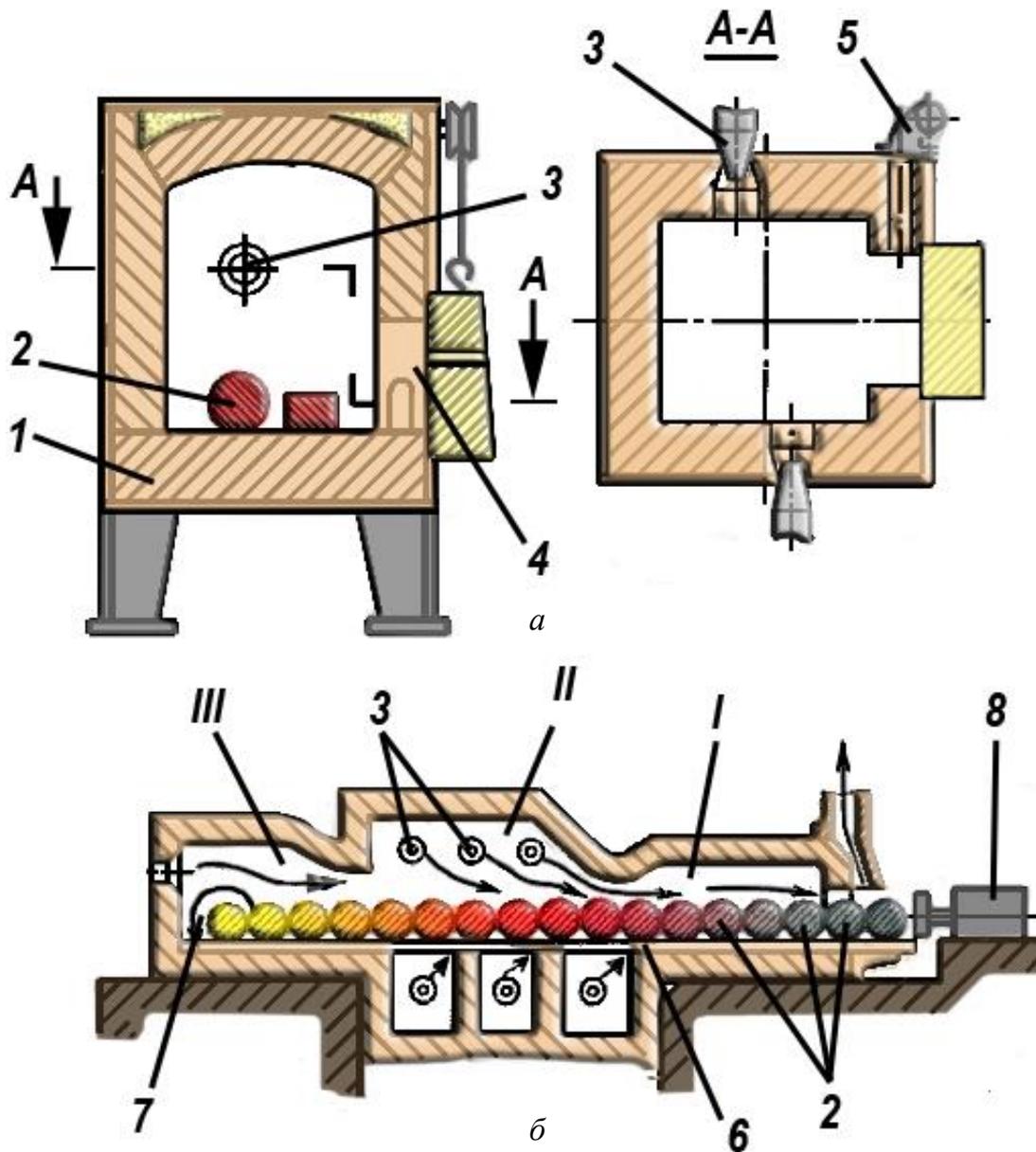


Рис. 3.7. Нагревательные печи: а – камерная; б – методическая

Электронечи сопротивления. Конструктивно они такие же, как и пламенные, но в качестве нагревателей используют металлические или карборундовые (силитовые) элементы сопротивления, подключающиеся к силовой электрической сети. Сопротивления, нагреваясь, излучают теплоту, которая передаётся стенкам печи и заготовкам, находящимся на поду. Явным *преимуществом* таких печей является возможность точного регулирования температуры рабочего пространства. Однако при температурах, необходимых для нагрева стали, стойкость элементов сопротивления низка. Поэтому используют их в основном для нагрева под обработку давлением цветных сплавов.

Индукционное электронагревательное устройство (рис. 3.8, а). Заготовку 1 помещают внутрь многовитковой катушки (индуктора) 2, выполненного из медной трубки. По индуктору пропускают переменный ток, и в заготовке, оказывающейся в переменном электромагнитном поле, возникают вихревые токи, под действием которых она разогревается.

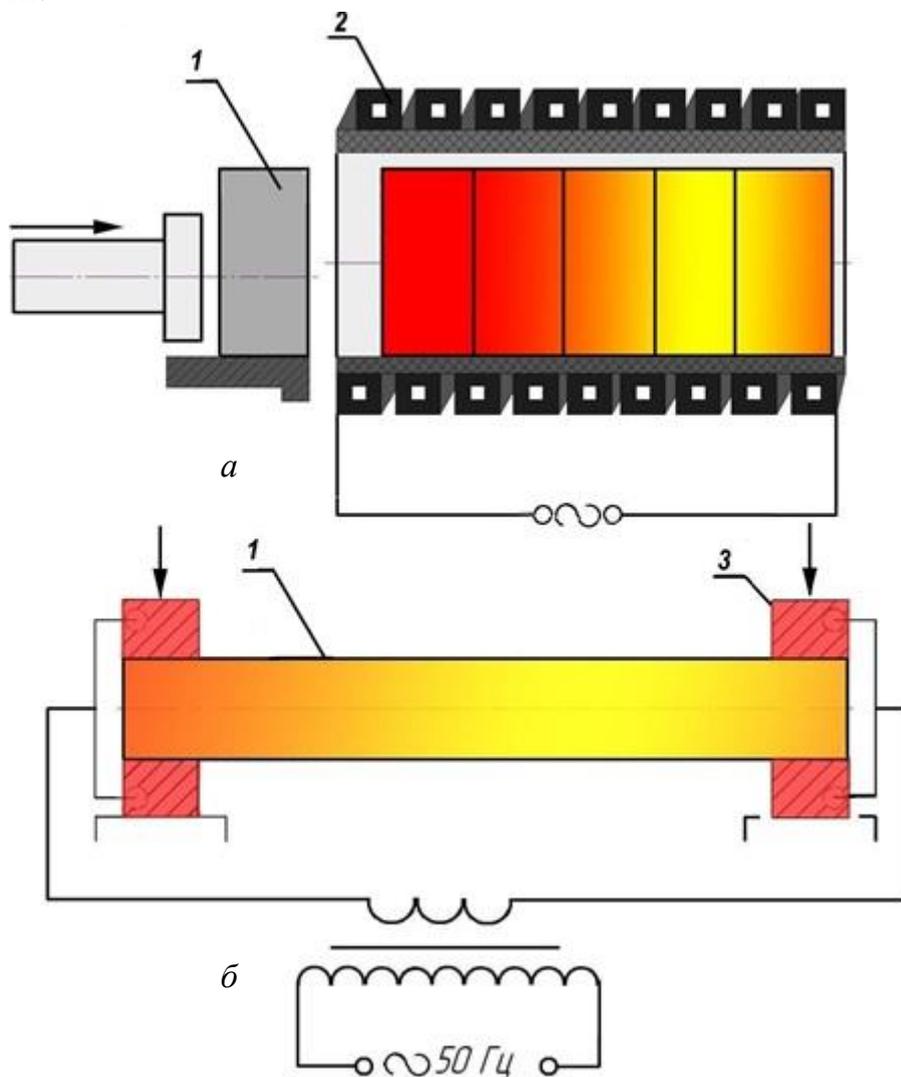


Рис. 3.8. Электронагревательные устройства:
а – индукционное; б – контактное

Преимущества индукционного нагрева: высокая скорость, в несколько раз превышающая скорость нагрева в печах; почти полное отсутствие окалины и обезуглероживания; возможность повышения температуры начала ОМД без появления перегрева; удобство автоматизации подачи и выдачи заготовок; улучшение условий труда.

К **недостаткам** следует отнести: меньшую универсальность, так как для заготовок разных размеров нужно применять разные индукто-

ры; высокую стоимость электроустановок и электроэнергии. Поэтому индукционный нагрев применяют в цехах крупносерийного производства поковок.

Устройство электроконтактного нагрева (рис. 3.8, б). В устройствах концы заготовки *1* зажимают между медными контактами *3*, к которым подводится ток большой силы. При прохождении тока через заготовку в ней, из-за её электрического сопротивления, выделяется теплота, пропорциональная квадрату силы тока. Контактный нагрев обладает теми же достоинствами, что и индукционный.

3.2. Прокатка

Прокатка – вид обработки металлов давлением, при котором металл пластически деформируется между вращающимися валками. При этом силы трения *T* между валками и заготовкой втягивают ее в межвалковый зазор, а нормальные силы *N*, перпендикулярные к поверхности валков, производят деформирование заготовки (рис. 3.9).

В процессе прокатки уменьшается толщина заготовки при одновременном увеличении её длины и ширины. Отношение полученной длины *l* к первоначальной длине *l*₀ (равное отношению исходной площади поперечного сечения *F*₀ к полученной площади *F*) называется коэффициентом вытяжки μ :

$$\mu = l/l_0 = F_0/F.$$

Абсолютное обжатие равно разности толщин заготовки до (*H*) и после (*h*) прокатки: *H* – *h*. Относительное обжатие в процентах определяется:

$$\varepsilon = (H - h)/H \cdot 100 \text{ \%}.$$

Величины μ и ε являются основными количественными характеристиками деформации при прокатке. Коэффициент вытяжки при прокатке обычно составляет 1,1–2,0 за проход.

Выделяют три основных вида прокатки: продольную, поперечную и поперечно-винтовую (косую).

При **продольной прокатке** (рис. 3.10, а) заготовка *2* деформируется между двумя валками *1*, вращающимися

в разные стороны, и перемещается перпендикулярно осям валков.

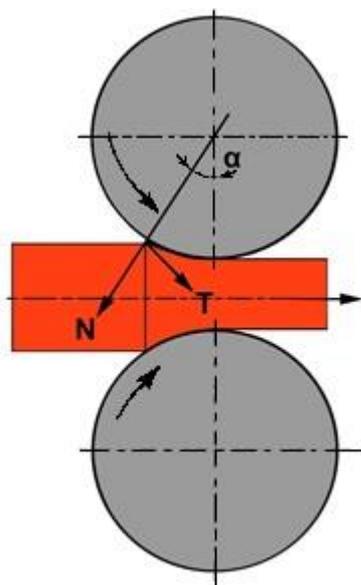


Рис. 3.9. Схема действия сил в момент захвата металла валками

При *поперечной прокатке* (рис. 3.10, б) валки 1, вращаясь в одном направлении, придают вращение заготовке 2, которая, перемещаясь вдоль оси валков, деформируется.

При *поперечно-винтовой прокатке* (рис. 3.10, в) валки 1 расположены под углом и сообщают заготовке 2 при деформировании вращательное и поступательное движения. Валки вращаются в одну сторону.

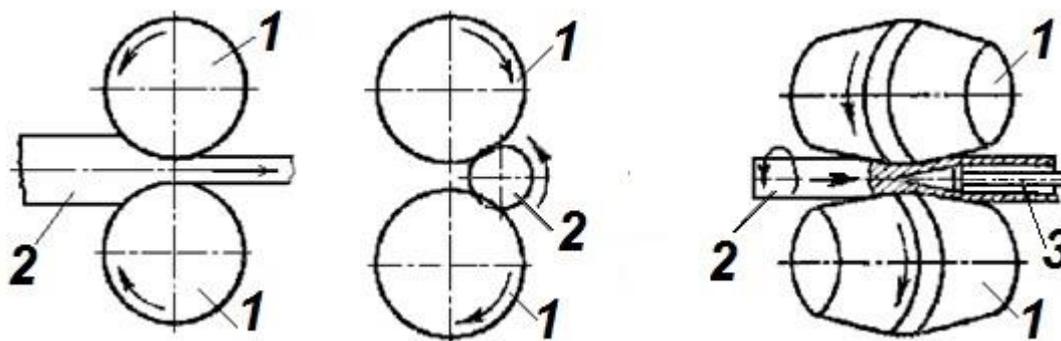


Рис. 3.10. Схемы прокатки: 1 – валки; 2 – заготовка; 3 – оправка

3.2.1. Продукция прокатного производства

Форма поперечного сечения прокатанного изделия называется *профилем*. Совокупность различных профилей разных размеров называется *сортаментом*. Сортамент разделяют на 4 основные группы: сортовой прокат, листовой, трубы и специальные виды проката.

Профили *сортового проката* (рис. 3.11, а) подразделяют на группы:

- простой геометрической формы (квадрат, круг, шестигранник, прямоугольник, треугольник, овал);
- сложной, фасонной формы (швеллеры, тавровые и двутавровые балки, рельсы, уголки).

Листовой прокат делится на *толстолистовой* – с толщиной листа от 4 до 160 мм (броневые плиты имеют толщину до 550 мм) и *тонколистовой* – с толщиной от 0,2 до 4 мм. Листы с толщиной меньше 0,2 мм называют *фольгой*.

По назначению листовую сталь делят на электротехническую, судостроительную, котельную, автотракторную, броневую, жечь для консервов и т. д.

Трубы стальные разделяют на *бесшовные*, диаметром 25–820 мм, и *сварные*, диаметром 5–2500 мм.

По назначению выпускают трубы: общего назначения, котельные, паро- и газопроводные, бурильные, крекинговые и некоторые другие.

Примерами *специальных видов проката* являются железнодорожные колёса, зубчатые колёса, шарики и ролики для подшипников, кольца, различные *периодические профили* (рис. 3.11, б) – заготовки, форма и площадь поперечного сечения которых периодически изменяются вдоль оси. Периодический прокат широко используется в качестве фасонной заготовки для штамповки, а также в виде заготовок под окончательную механическую обработку (вагонные оси, полуоси машин, шатуны двигателей).

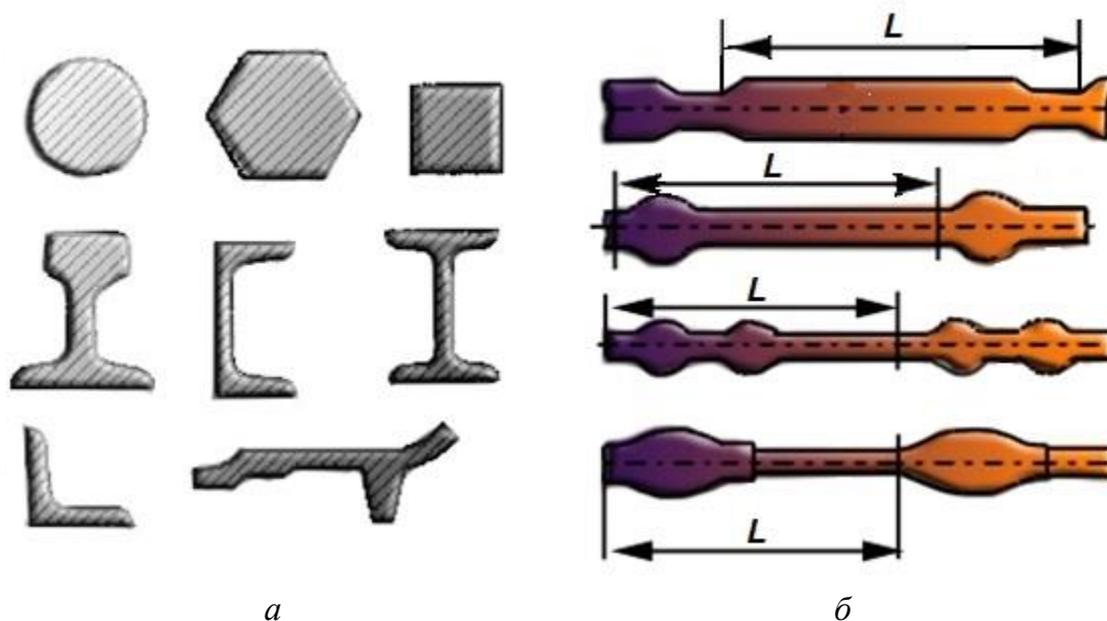


Рис. 3.11. Профили сортового проката (а) и виды периодического проката (б); L – длина периода

3.2.2. Инструмент и оборудование для прокатки

Инструментом прокатки являются *валки*, которые, в зависимости от прокатываемого профиля, могут быть *гладкими* (рис. 3.12, а) – для прокатки листов и лент, *ступенчатыми* – для прокатки полосовой стали, *ручьевыми* (рис. 3.12, б) – для получения сортового проката.

Ручьём называют вырез на боковой поверхности валка, а совокупность двух ручьёв пары валков образует *калибр*. Различают открытые и закрытые калибры (рис. 3.12, в). У *открытых калибров* линия разъёма валков находится в пределах калибра, а у *закрытых* – вне его пределов. На каждой паре ручьевых валков обычно размещают несколько калибров. Разработку системы последовательных калибров, необходимых для получения того или иного профиля, называют *калибровкой*. Чем больше разница в размерах поперечных сечений исходной заготовки и конечного изделия и чем сложнее профиль последнего, тем

большее количество калибров требуется для его получения. Так, для получения рельсов используют систему из 9 калибров, балок – из 9–13, для получения проволоки – из 15–19.

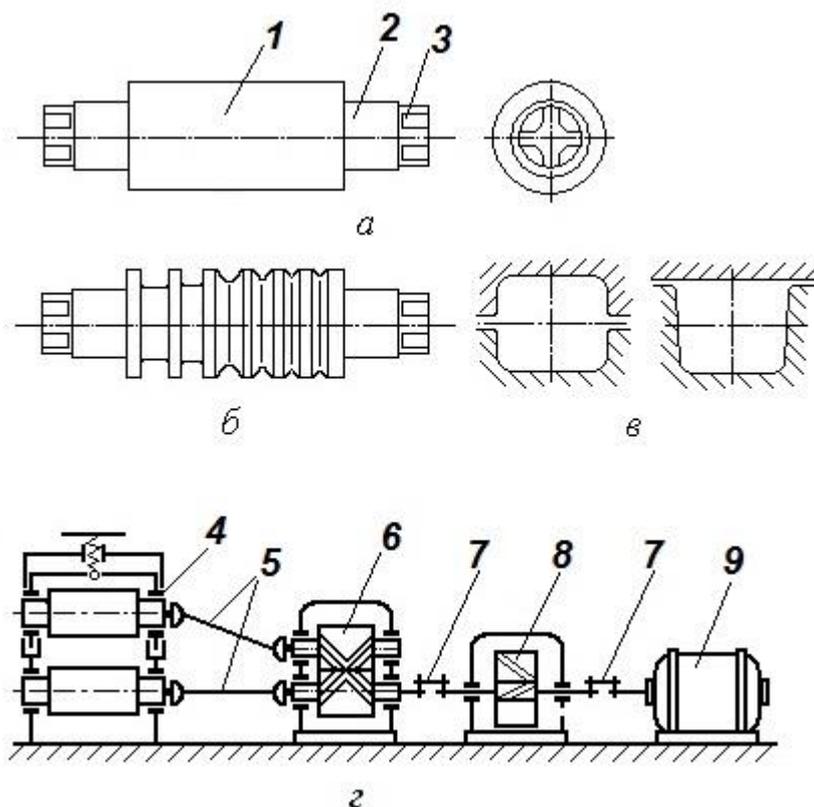


Рис. 3.12. Инструмент и оборудование прокатки:
 а – гладкий валок; б – ручевой валок;
 в – открытый и закрытый калибры; з – схема прокатного стана

Валки состоят из бочки 1 (рабочая часть валка), шеек 2 (цапф) и трефы 3 (рис. 3.12, а). Шейки валков вращаются в подшипниках, устанавливаемых в стойках станины. В станине имеются механизмы для изменения расстояния между валками и взаимного расположения их осей.

Комплект валков вместе со станиной называется *рабочей клетью* 4 (рис. 3.12, з). Валки получают вращение от двигателя 9 через понижающий редуктор 8, передающий вращательное движение через шестерённую клеть 6 и шпиндели 5. Совокупность привода, шестерённой клетки, одной или нескольких рабочих клетей образует *прокатный стан*.

По числу и расположению валков в рабочих клетях станы классифицируют на дуо-станы, трио-станы, кварто-станы, многовалковые и универсальные.

Стан дуо имеет два валка (рис. 3.13, а), которые имеют либо постоянное направление вращения (*нереверсивные станы*), либо направление вращения, которое можно менять и таким образом пропускать обрабатываемый металл в обе стороны (*реверсивные станы*).

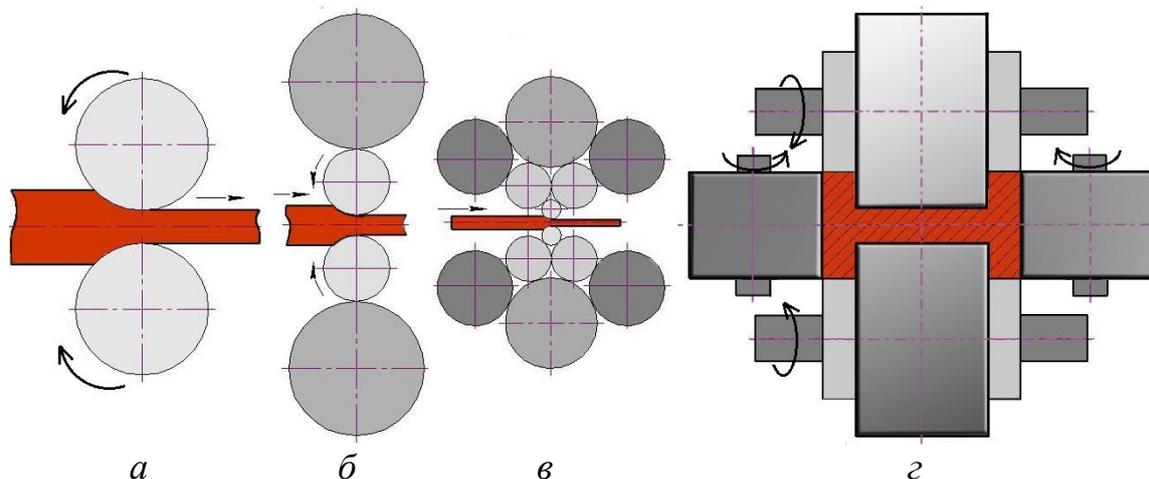


Рис. 3.13. Варианты расположения валков в рабочей клетке

Стан кварто (рис. 3.13, б) имеет два рабочих и два опорных валка, расположенных один над другим. Приводными являются рабочие валки. *Многовалковые станы*: 12-валковые (рис. 3.13, в) и 20-валковые имеют также только два рабочих валка, а все остальные – опорные. Рабочие валки приводятся через промежуточные опорные валки. Использование опорных валков позволяет применять рабочие валки малого диаметра, благодаря чему увеличивается вытяжка и снижается давление металла на валки.

Универсальные станы имеют не только горизонтальные, но еще и вертикальные валки (рис. 3.13, г).

По расположению рабочих клеток различают станы *одноклетьевые* и *многоклетьевые* с линейным или последователь-

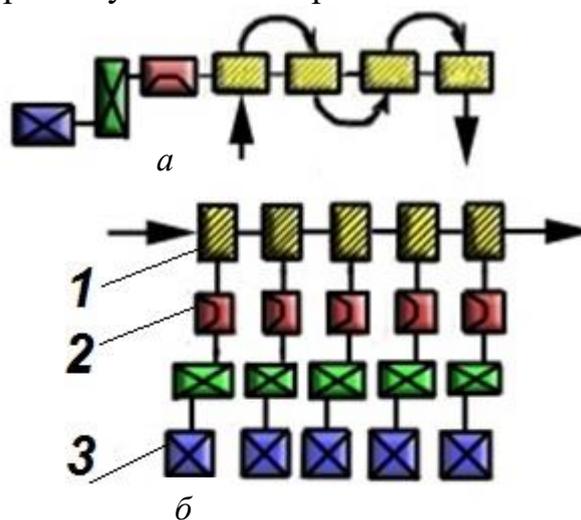


Рис. 3.14. Расположение рабочих клеток прокатных станов:

1 – рабочие клетки; 2 – шестерённые клетки; 3 – двигатели

ным расположением клетей. У *линейных станов* клетки расположены в одну или несколько линий (рис. 3.14, *а*); в каждой линии валки связаны между собой и вращаются с одной скоростью. Последовательное расположение клетей в *непрерывных станах* (рис. 3.14, *б*) позволяет значительно повысить производительность прокатки.

Привод рабочих клетей непрерывных станов может быть групповым – от одного двигателя, или индивидуальным – каждая клеть имеет свой двигатель. В обоих случаях скорость прокатки в каждой последующей клетке выше скорости в предыдущей. В непрерывных станах металл движется прямолинейно и деформируется одновременно в нескольких клетях.

По *назначению* прокатные станы разделяют на *станы производства полупродукта* и *станы для выпуска готового проката*. К первой группе относятся обжимные и заготовочные станы. Станы готового проката характеризуются видом выпускаемой продукции: рельсобалочные, сортовые, листовые, трубопрокатные, проволочные и станы для специальных видов проката.

Обжимные станы (блюминги и слябинги) предназначены для прокатки слитков (до 60 т) в крупные заготовки (блюмы и слябы). *Блюм* – заготовка квадратного сечения с размерами от 450×450 до 150×150 мм, после блюминга её прокатывают на сортовых станах. *Сляб* имеет прямоугольное сечение толщиной 65–300 мм и шириной 600–1600 мм и представляет собой заготовку для листа.

Заготовочные станы предназначены для получения полупродукта более мелкого сечения из блюмов, слябов или слитков небольшой массы.

3.2.3. Производство сортового проката

Исходные заготовки для сортовых станов – блюмы – последовательно пропускают через ряд калибров. В зависимости от стадии процесса прокатки различают *калибры обжимные* (уменьшающие сечение заготовки), *черновые* (приближающие сечение заготовки к заданному профилю) и *чистовые* (дающие окончательный профиль). В качестве примера на рис. 3.15 показана система из 9 калибров для получения рельсов. После прокатки прутки разрезают на мерные заготовки и правят в холодном состоянии.

3.2.4. Производство листового проката

Исходную заготовку – сляб – прокатывают (после второго нагрева) в *толстый лист*, обычно на станах с двумя рабочими клетями (черновой и чистовой), расположенными друг за другом. Перед черновой клетью сбивают окалину. Чистовая клеть кварто имеет рабочие валки

меньшего диаметра, чем черновая. После прокатки листы правят и обрезают на заданные размеры.

Тонкие листы прокатывают в горячем и холодном состояниях. Горячую прокатку ведут на непрерывных многоклетевых станах, имеющих две группы клетей (черновую и чистовую). Перед каждой группой в окалиноломателях очищают листы от окалины. Выходящий из чистовых клетей лист сматывается в рулон. Далее листы в рулонах передаются на отделочные операции (правку, разрезку и др.) или на дальнейшую холодную прокатку.

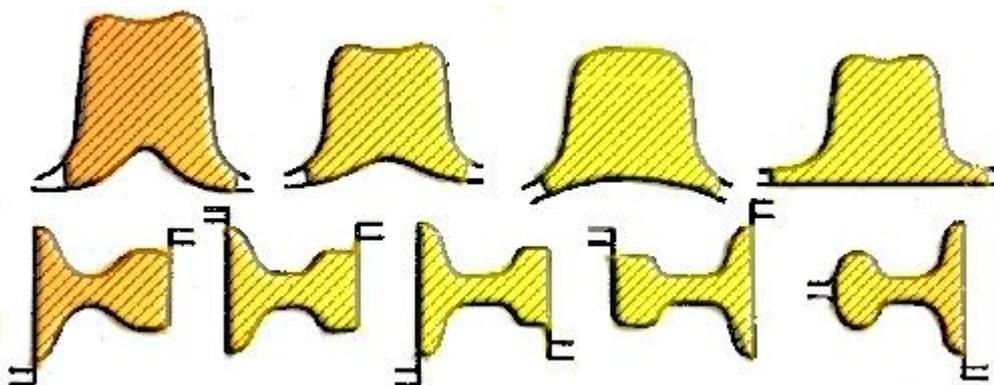


Рис. 3.15. Схема калибров при прокатке рельсов

С уменьшением толщины листов до определённой величины горячая прокатка сопровождается быстрым остыванием металла, растёт сопротивление деформации, и увеличиваются отходы металла в окалину из-за неизбежных частых подогревов. Поэтому листы тоньше 2 мм в горячем состоянии прокатывать сложно, и такие листы, как правило, получают холодной прокаткой, которая обеспечивает лучшее качество их поверхности и большую точность по толщине.

Холоднокатаный лист катают из горячекатаного. Предварительно горячекатаный лист очищают от окалины травлением в кислотах и промывают. Прокатывают на непрерывных станах кварто и на многовалковых станах с применением смазки. Для снятия наклёпа проводят промежуточный отжиг в печах с защитной атмосферой, после чего направляют на дальнейшую прокатку или на *дрессировку* (холодная прокатка с небольшим обжатием 0,5–5 % за один проход без смазки). В результате дрессировки повышается прочность, улучшается штампуемость и качество поверхности. Далее проводят отделочные операции: обрезку кромок, разрезку на мерные листы, нанесение антикоррозионных покрытий (например, цинковых, из олова, алюминия, полимеров, лака), полирование и др.

3.2.5. Производство труб

Бесшовные трубы. При прокатке бесшовных труб первой операцией является *прошивка* – образование отверстия в круглой заготовке.

Прошивку выполняют в горячем состоянии на прошивных станах двумя бочкообразными валками, оси которых расположены под углом (4–14°) друг к другу. Схема поперечно-винтовой прокатки показана на рис. 3.10, в. Валки 1 вращаются в одном и том же направлении. В результате этого заготовка 2 получает одновременно вращательное и поступательное движение. В зоне деформации заготовки преобладают радиальные растягивающие напряжения, что приводит к разрыхлению центральной части заготовки, образованию полости и облегчает прошивку отверстия оправкой 3, устанавливаемой на пути движения заготовки.

Вторую операцию – *прокатку полученной гильзы в трубу* нужного диаметра и толщины стенки – производят на раскатных станах по схеме продольной прокатки. Гильзу раскатывают между двумя валками 1 с последовательно расположенными круглыми калибрами и оправкой 2 (рис. 3.16). Оправку закрепляют на длинном стержне так, чтобы зазор между оправкой и калибром валка определял толщину стенки трубы. Перед прокаткой в следующем калибре трубу поворачивают на 90°. Бесшовные трубы по механическим, физическим, эксплуатационным свойствам превосходят литые и сварные, но значительно дороже.

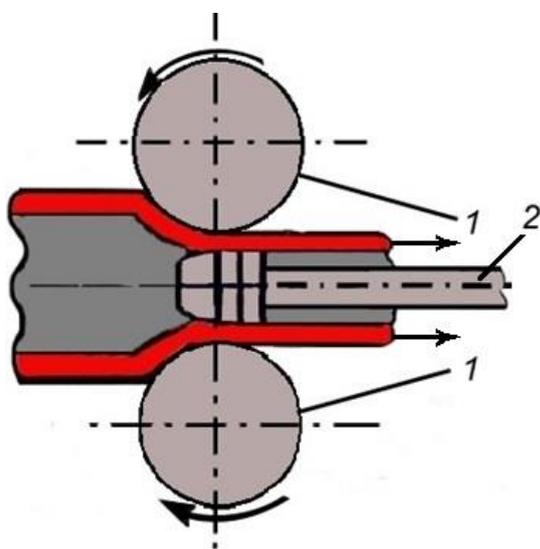
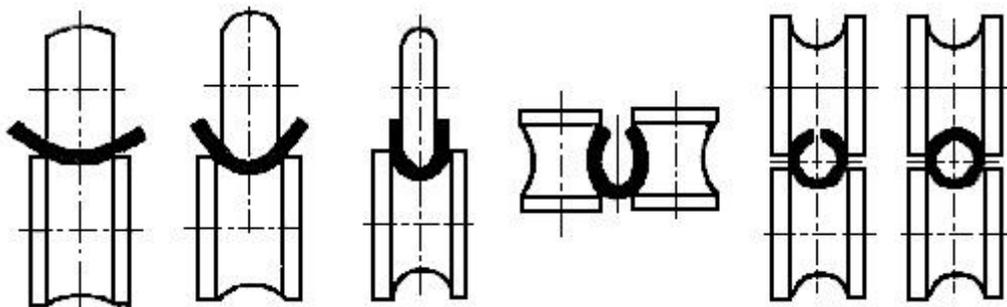


Рис. 3. 16. Схема прокатки труб на автоматическом стане

сопротивлением, применяют печную сварку, автоматическую электродуговую под флюсом, индукционную.

Сварные трубы.

Сварные трубы. Сварные трубы получают из плоской заготовки – ленты, называемой *штрипсом*, по следующей технологии: ленту сворачивают в трубу в формовочном непрерывном стане дуо с числом клеток от 5 до 12 (рис. 3.17). При выходе из последней клетки стана трубная заготовка поступает в электросварочный агрегат, где кромки трубы прижимаются друг к другу роликовыми электродами и свариваются. Далее трубу правят, калибруют,резают на мерные куски, производят другие отделочные операции. Кроме электросварки



3.17. Последовательность процесса свертывания полосы в трубу в шести клетях непрерывного стана

3.2.6. Производство проволоки

Проволочные станы бывают полунепрерывные и непрерывные и предназначены для прокатки проволоки-катанки диаметром 5–10 мм. Проволоку меньшего диаметра получают волочением.

3.2.7. Производство специальных видов проката

К специальным видам прокатки относят прокатку профилей периодического сечения, колёс, шаров, колец и др. Периодические профили изготавливают, в основном, поперечной и поперечно-винтовой прокаткой. На рис. 3.18, *а* показана схема стана поперечной прокатки.

Щуп 4 скользит по копирующей линейке 3, жёстко связанной с кареткой 2 натяжного устройства. В зависимости от профиля копирующей линейки 3 рабочие валки 1 по мере её движения сближаются или расходятся, изменяя соответственно диаметр прокатываемого профиля. Периодические профили применяют как фасонные заготовки для последующей штамповки и как заготовки под окончательную механическую обработку (полуоси автомобилей, ступенчатые валы и др. (рис. 3.11, *б*).

На рис. 3.18, *б* дана схема стана поперечно-винтовой прокатки. Здесь валки 6 и 8 вращаются в одну и ту же сторону. Ручьи валков соответствующей формы сделаны по винтовой линии. Заготовка 5 при прокатке получает вращательное и поступательное движение; от вылета из валков она предохраняется центрирующими упорами 7. Такие станы используют для прокатки заготовок шаров и сферических роликов подшипников качения.

На рис. 3.19 показана последовательность изготовления железнодорожного колеса.

Исходной заготовкой являются слитки или прокат круглого сечения. После нагрева заготовку осаживают на гидравлическом прессе и прошивают отверстие (рис. 3.19, *а*); затем на более мощном прессе

формируют в штампе ступицу, диск и контур обода (рис. 3.19, б). Полученная заготовка поступает на колёсопрокатный стан, где раскатывают диск, прилегающий к ободу, раскатывают обод и окончательно оформляют гребень на ободу колеса (рис. 3.19, в).

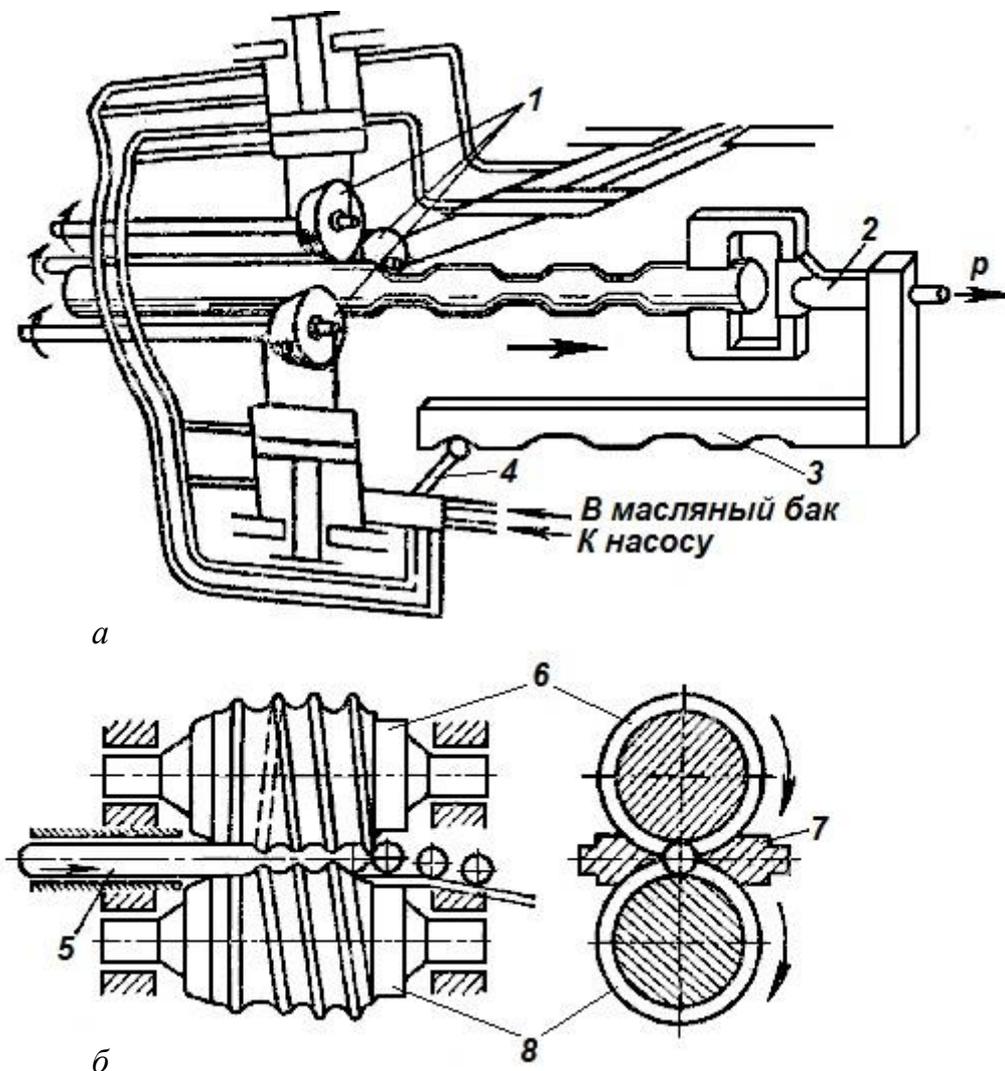


Рис. 3.18. Схемы прокатки периодических профилей в трехвалковом стане поперечной прокатки (а) и в стане поперечно-винтовой прокатки (б)

3.2.8. Производство гнутых профилей

Горячей прокаткой фасонных профилей невозможно получить стенки с толщиной менее 2–3 мм. Фасонные тонкостенные профили, лёгкие, но жёсткие, сложной конфигурации и большой длины, можно получить методом холодной гибки листового материала на специальных гибочных роликовых станах. Станы имеют 6–20 последовательно расположенных клеток непрерывного типа. В каждой паре гибочных роли-

ков меняется форма листовой заготовки, постепенно приобретая к последней клетки заданную форму (рис. 3.20).

Площадь сечения не меняется. Толщина заготовок из листовой стали или цветных металлов 0,3–20 мм, а максимальная ширина 600–2500 мм.

При одних и тех же прочностных свойствах гнутые профили на 25–40 % легче горячекатаных фасонных профилей, что обуславливает их широкое применение в автомобильной и авиационной промышленности, в машиностроении и строительстве (рис. 3.21).

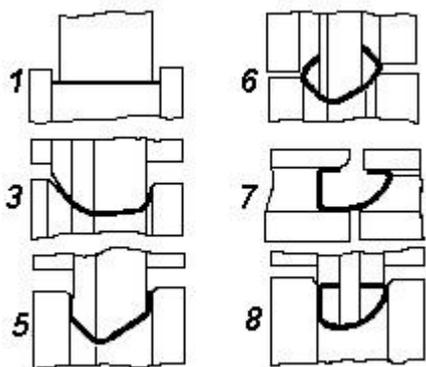


Рис. 3.20. Последовательность профилирования на профилегибочном стане

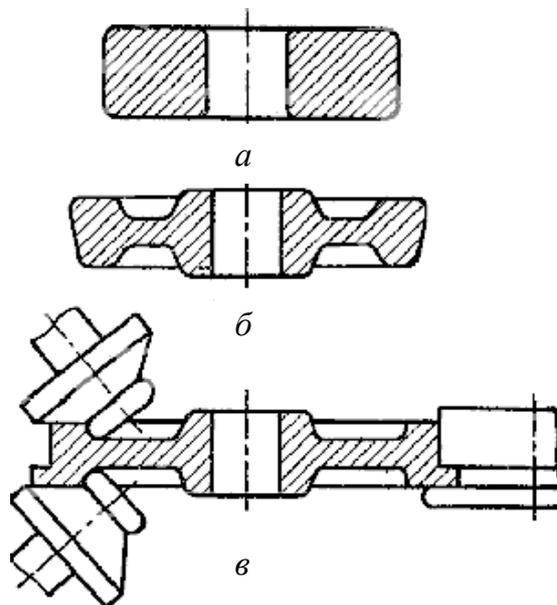


Рис. 3.19. Последовательность изготовления железнодорожного колеса

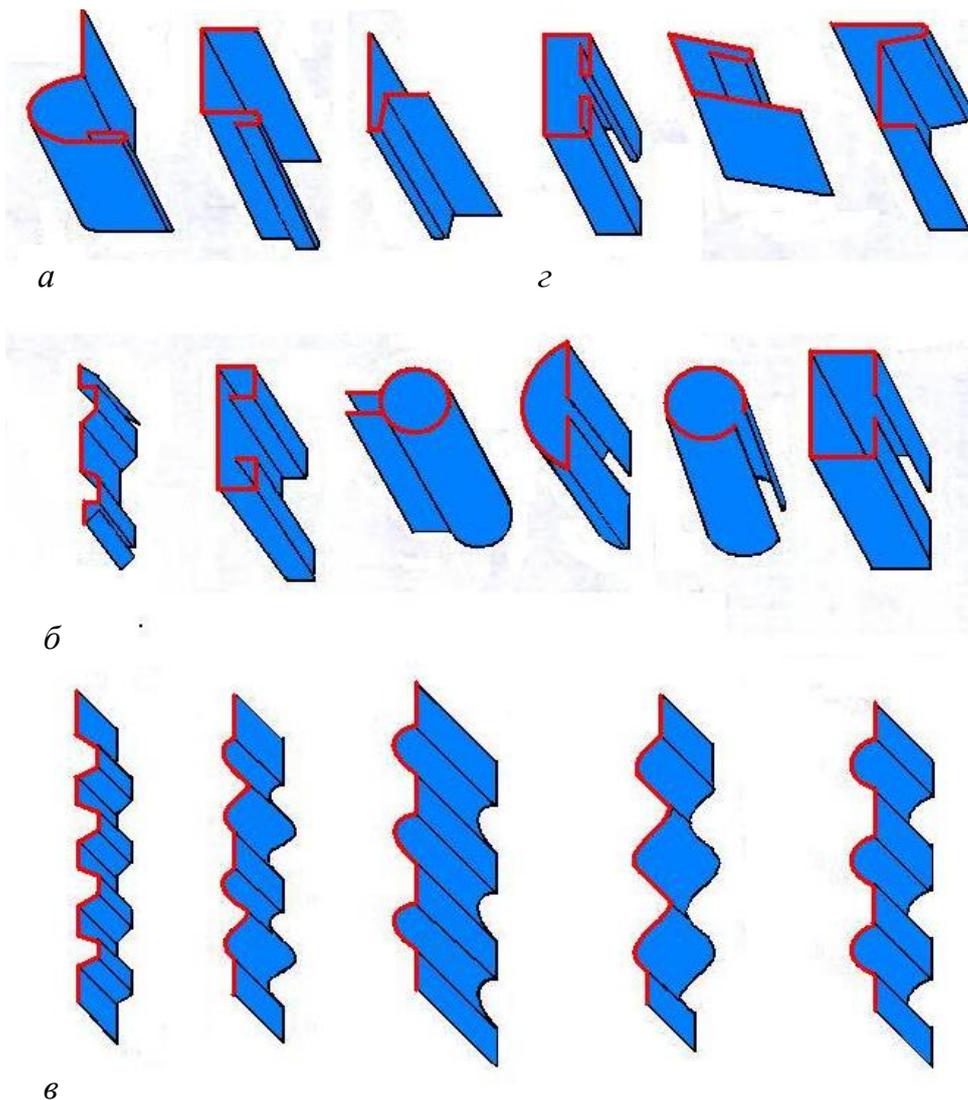


Рис. 3.21. Основные виды гнутых профилей:
 а, з – профили с элементом двойной толщины;
 б – профили замкнутого типа; в – гофрированные профили

3.3. Ковка

Ковка – вид горячей обработки металлов давлением, при котором металл деформируется последовательными ударами на отдельных участках заготовки с помощью универсального инструмента – *бойков*. Ковкой получают заготовки для последующей механической обработки. Эти заготовки называют *поковками*. Ковка применяется в индивидуальном и мелкосерийном производстве и разделяется на ручную и машинную. Ручной ковкой получают мелкие поковки в единичном производстве и при ремонтных работах с помощью наковальни и кувалды. Машинная ковка осуществляется на молотах и прессах и является пока

единственным способом изготовления тяжёлых поковок из слитков весом до 350 тонн. *Молотами* называются машины ударного действия. Продолжительность деформации на них составляет тысячные доли секунды. Для привода молотов используют пар, сжатый воздух или газ, жидкость под давлением, горючую смесь, взрывчатые вещества, магнитные и гравитационные поля. Основными типами молотов дляковки являются пневматические и паровоздушные.

Паровоздушные молоты приводятся в действие соответственно паром или сжатым воздухом, подающимся от котлов или компрессоров. Поступая в рабочий цилиндр, энергоноситель разгоняет поршень и связанные с ним подвижные части молота до скорости 6–7 м/с.

Пневматические молоты используют сжатый воздух, но воздух является пружиной, связывающей два поршня: рабочий и компрессорный. Компрессорный приводится от коленчатого вала двигателя. Компрессор встроен в молот. Характеристикой мощности молота является *масса падающих частей* (суммарная масса всех частей молота, перемещающихся в его верхней части). Чем больше масса падающих частей, тем выше энергия удара верхнего бойка по заготовке. Пневматические молоты изготавливаются с массой падающих частей от 50 кг до 1000 кг, а паровоздушные – от 1000 кг до 8000 кг.

Гидравлические прессы. Прессы развивают статическое усилие, и продолжительность деформации у них может составлять десятки секунд. В гидравлическом прессе усилие создаётся с помощью жидкости (водной эмульсии или минерального масла) высокого давления (20–50 МПа), подаваемой в рабочий цилиндр. Характеристикой мощности прессы является *усилие*, развиваемое им и передаваемое заготовке. Дляковки используются гидравлические прессы с усилием от 3 МН до 150 МН. Прессы используют дляковки очень крупных, тяжёлых изделий – слитков массой до 350 т. На практике при выборе мощности необходимого оборудования для свободнойковки пользуются специальными справочниками, таблицами, формулами.

3.3.1. Операцииковки

Процессковки состоит из чередования в определенной последовательности основных и вспомогательных операций. К основным операциям относятся: осадка, протяжка, прошивка, отрубка, гибка, скручивание.

Осадка – операция, при которой высота заготовки уменьшается, а

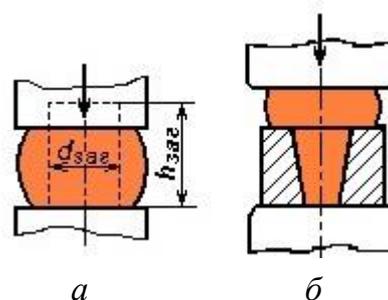


Рис. 3.22. Схемы осадки (а) и высадки (б)

площадь поперечного сечения увеличивается (рис. 3.22, а). Разновидностью осадки является **высадка** (рис. 3.22, б), при которой металл осаживается только на части длины заготовки.

Протяжка – операция удлинения заготовки или её части за счёт уменьшения площади поперечного сечения (рис. 3.23, а). Протяжкой получают поковки с удлиненной осью – валы, рычаги, тяги и т. п. Разновидностями протяжки являются разгонка, протяжка с оправкой и раскатка на оправке. **Разгонка** – операция увеличения ширины части заготовки за счёт уменьшения её толщины (рис. 3.23, б). **Протяжка с оправкой** – операция увеличения длины пустотелой заготовки за счёт уменьшения толщины её стенок (рис. 3.23, в). В этом случае протягивают заготовку в нижнем вырезном бойке 3 и верхнем плоском бойке 2 на конической оправке 1.

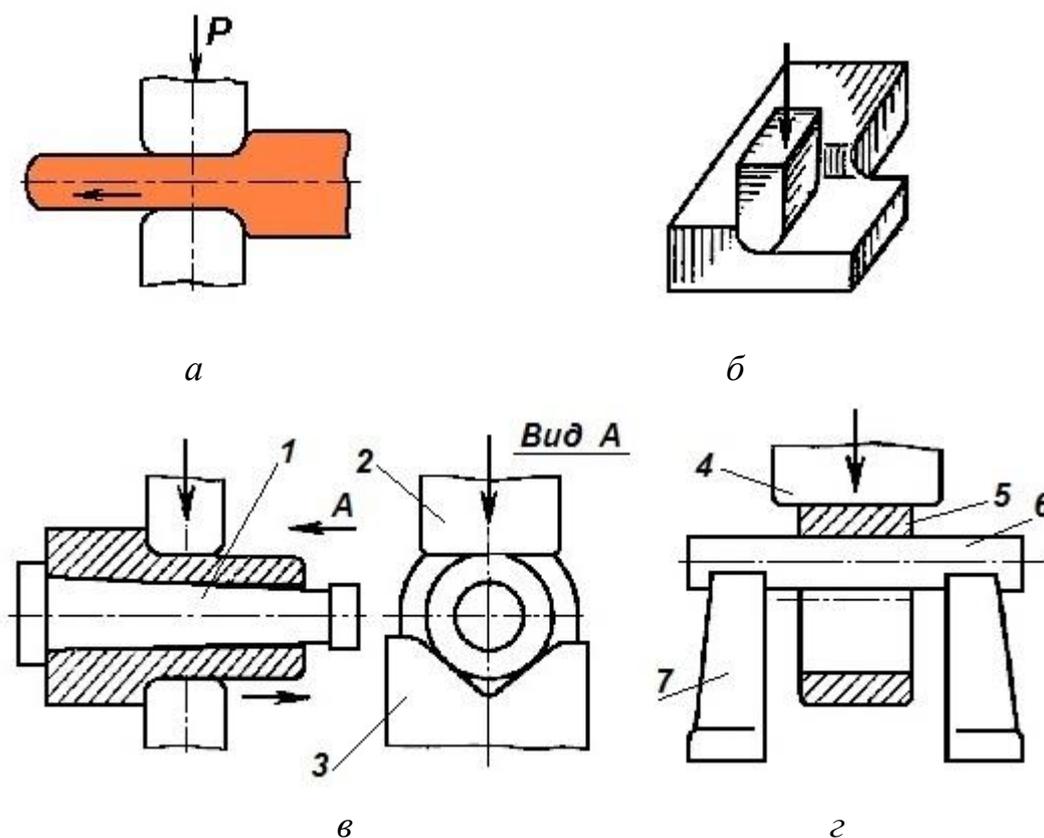


Рис. 3.23. Схема протяжки и её разновидностей

Раскатка на оправке – операция одновременного увеличения наружного и внутреннего диаметров кольцевой заготовки за счёт уменьшения толщины её стенок (рис. 3.23, з). Заготовка 5 опирается внутренней поверхностью на цилиндрическую оправку 6, устанавливаемую концами на подставках 7, и деформируется между оправкой и бойком 4.

Прошивка – операция получения полостей в заготовке за счёт вытеснения металла (рис. 3.24, а). Прошивкой можно получить сквозное отверстие или углубление (глухая прошивка). Инструментом для прошивки являются *прошивни* (рис. 3.24, в), сплошные и пустотелые; последними прошивают отверстия большого диаметра (400–900 мм). При сквозной прошивке тонких поковок применяют *подкладные кольца* (рис. 3.24, б). Более толстые поковки прошиваются с двух сторон без подкладного кольца (рис. 3.24, а).

Отрубка – операция, при которой заготовки разделяют или только подразделяют (*надрубка*) на части путём внедрения деформирующего инструмента – *топора* (рис. 3.24, г). Отрубку применяют для получения мерных заготовок, для удаления излишков металла на концах поковок или при удалении донной и прибыльной частей слитка, а также при ковке фигурных поковок.

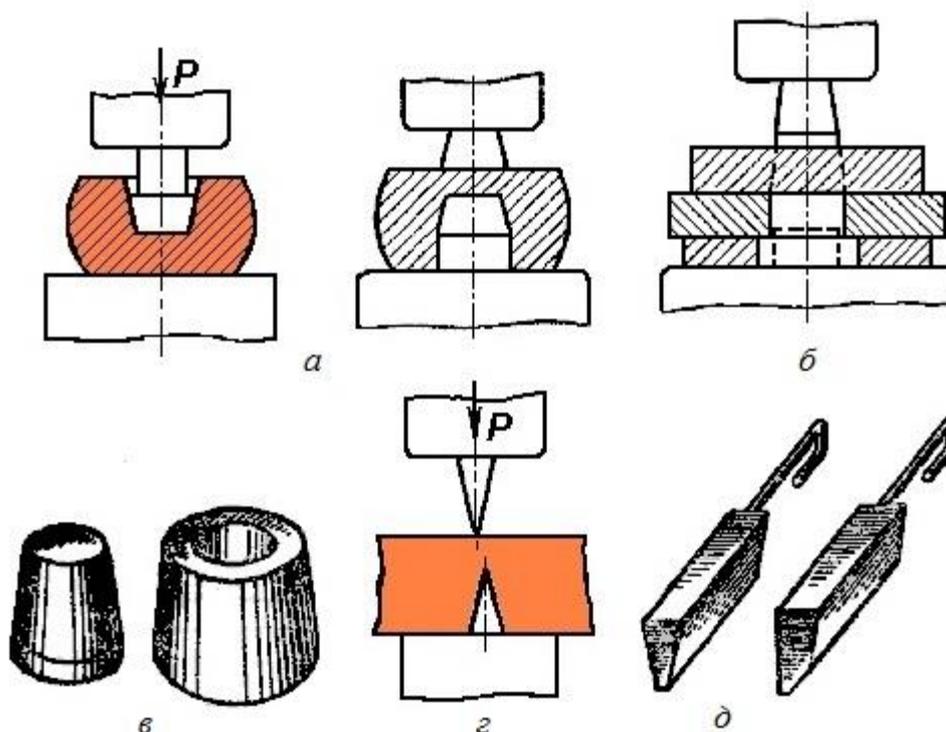


Рис. 3.24. Схемы прошивки и отрубки:

а – двусторонняя прошивка; б – односторонняя прошивка с подкладным кольцом;
в – прошивни; г – отрубка; д – топоры

Гибка – операция придания заготовке изогнутой формы по заданному контуру (рис. 3.25, а). Этой операцией получают угольники, скобы, крючки, кронштейны и т. п.

Скручивание – операция, при которой часть заготовки поворачивается вокруг продольной оси (рис. 3.25, б). При скручивании одну

часть заготовки зажимают между бойками, другую разворачивают с помощью приспособлений – воротков, ключей, лебедок, вилок. Скручивание применяют при изготовлении коленчатых валов, свёрл и т. п.

Кузнечная сварка – операция, посредством которой с помощью местного нагрева и механического воздействия соединяют в одно целое части или концы свариваемой поковки. Хорошо сваривается сталь, содержащая до 0,3 % углерода. Способы сварки – внахлёстку, вразруб. Сварка производится при температуре 1300–1400 °С ударами, наносимыми по свариваемым заготовкам в быстром темпе, в один приём. Для получения качественного соединения при нагреве заготовок применяют флюсы.

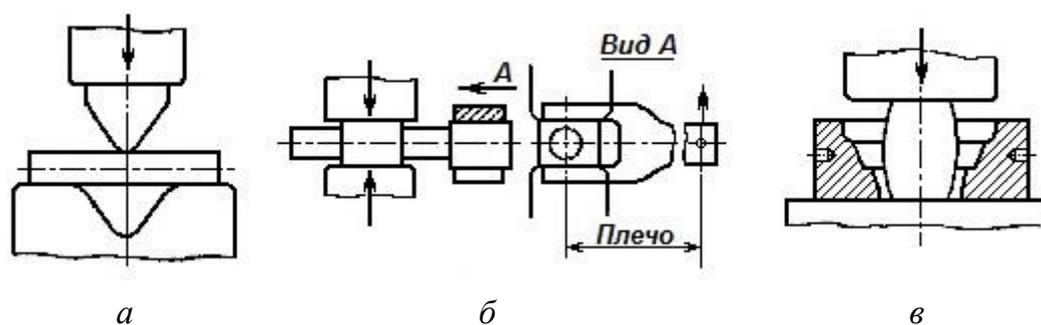


Рис. 3.25. Схемы операций:

а – гибки; *б* – скручивания; *в* – штамповки в подкладном штампе

Кроме рассмотренных основных операций свободнойковки могут использоваться и другие. Реальный технологический процесс изготовления поковок представляет собой последовательное осуществление нескольких операций.

Величина деформации при ковке характеризуется коэффициентом уковки K_y :

$$K_y = F_1/F_2,$$

где F_1 и F_2 – бóльшая и меньшая площади поперечного сечения поковки и заготовки. При ковке заготовок из проката чаще всего коэффициент уковки бывает 1,3–1,5, а при ковке слитков $K_y = 3–10$. Чем больше K_y слитков, тем лучше структура металла и выше его механические свойства.

3.3.2. Особенности конструирования поковок

Поковки должны быть наиболее простыми, очерченными цилиндрическими поверхностями и плоскостями (рис. 3.26, 1–4). Следует избегать в поковках конических и клиновых форм (рис. 3.26, 5–6). Надо учитывать трудность выполнения ковкой участков пересечений цилиндрических поверхностей между собой и с призматическими поверхностями (рис. 3.26, 7–8). В поковках необходимо избегать ребристых се-

чений, выступов, бобышек и т. п. В местах сложной конфигурации приходится прибегать к напускам в целях упрощения очертаний поковки. Следует стремиться, чтобы форма детали позволяла получить при ковке наиболее благоприятное расположение волокон. Чертёж поковки составляют на основании разработанного конструктором чертежа готовой детали с учетом припусков, допусков и напусков.

Припуск – поверхностный слой металла в поковке, подлежащий удалению механической обработкой для получения требуемых размеров и качества поверхности детали (рис. 3.27, а).

Допуск – допустимое отклонение от номинального размера поковки, т. е. точность, с которой должна быть изготовлена поковка (рис. 3.27, а).

Если припуски предусматривают только в местах, подлежащих обработке резанием, то допуски – на все размеры поковки.

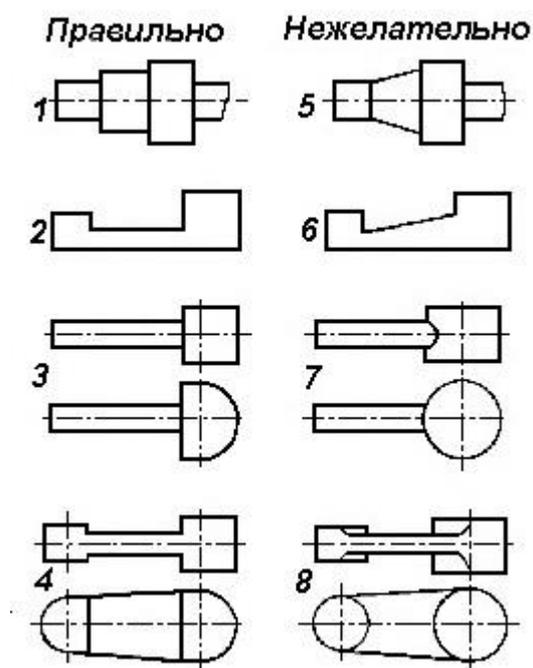


Рис. 3.26. Правильные и нежелательные формы поковок

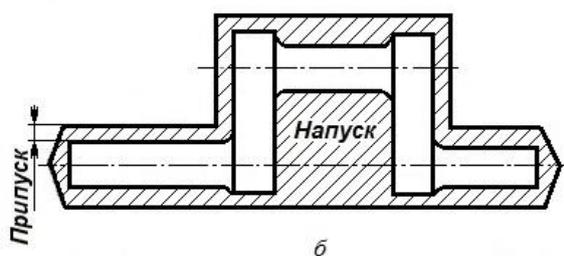


Рис. 3.27. Схема размеров поковки

Иногда конфигурацию поковки упрощают за счет *напусков* – объёма металла, добавляемого к поковке сверх припуска для упрощения её

формы и, следовательно, процессаковки (рис. 3.27, б). Напуски удаляют последующей механической обработкой. Припуски, допуски и напуски назначают в соответствии с ГОСТом.

3.3.3. Механизацияковки

Для снижения трудоёмкости и повышения производительности, а также для улучшения условий труда при ковке стремятся максимально механизировать этот процесс. Для посадки заготовок (слитков) в печь и выдачи их из печи кроме мостовых и консольно-поворотных кранов применяют специальные посадочные машины напольного или подвесного типов. Ковку на прессах и молотах можно механизировать с помощью различных кранов, кантователей и манипуляторов.

К основным *преимуществам* свободнойковки относятся:

1. Получение металла с более высокими механическими свойствами по сравнению с отливками.
2. Возможность получать крупные поковки по массе (до 350 т) и габаритам, что другими способами недостижимо.
3. Для изготовления крупных поковок требуются сравнительно небольшие усилия, так как обработка осуществляется обжатием отдельных небольших участков, и металл относительно свободно течет в стороны.
4. Применение универсального оборудования и инструмента резко снижает затраты производства, особенно мелкосерийного.

К *недостаткам* свободнойковки относятся:

1. Низкая производительность по сравнению с горячей штамповкой. Этот недостаток стремятся устранить путём максимальной механизации процесса.
2. Большие напуски на поковках, что требует большого объёма последующей обработки. Большие допуски и припуски, особенно на крупных поковках.

Обе эти причины вызывают повышение отходов металла в стружку. Таким образом, свободнуюковку целесообразно применять в единичном и мелкосерийном производстве, а также при изготовлении крупногабаритных заготовок.

3.4. Штамповка

Штамповка – способ изготовления изделий давлением с помощью специального инструмента (*штампа*), рабочая полость которого определяет конфигурацию конечной *штампованной поковки* (изделия).

По сравнению с ковкой штамповка имеет ряд *преимуществ*:

1. Можно получать поковки сложной конфигурации без напусков. При этом допуски на штампованную поковку в 3–4 раза меньше, чем на кованую. Следовательно, значительно сокращается отход металла в стружку при последующей обработке резанием.

2. Производительность штамповки значительно выше – десятки и сотни поковок в час.

К недостаткам относятся:

1. Дорогостоящий инструмент – штамп – используется для изготовления только одной, конкретной поковки.

2. Для штамповки требуются гораздо большие усилия деформирования, чем дляковки таких же поковок.

Следовательно, штамповка экономически целесообразна при серийном производстве поковок массой до 20–30 кг.

Процессы штамповки разделяют на *объёмную* и *листовую штамповку*. Объёмную штамповку подразделяют на *горячую* и *холодную*.

3.4.1. Горячая объёмная штамповка

Сущность процесса *горячей объёмной штамповки* заключается в том, что нагретая до оптимальной температуры заготовка ($T_{\text{нагр}} > T_p$) помещается в полость одной из половин штампа, где она при воздействии второй половины приобретает заданную форму.

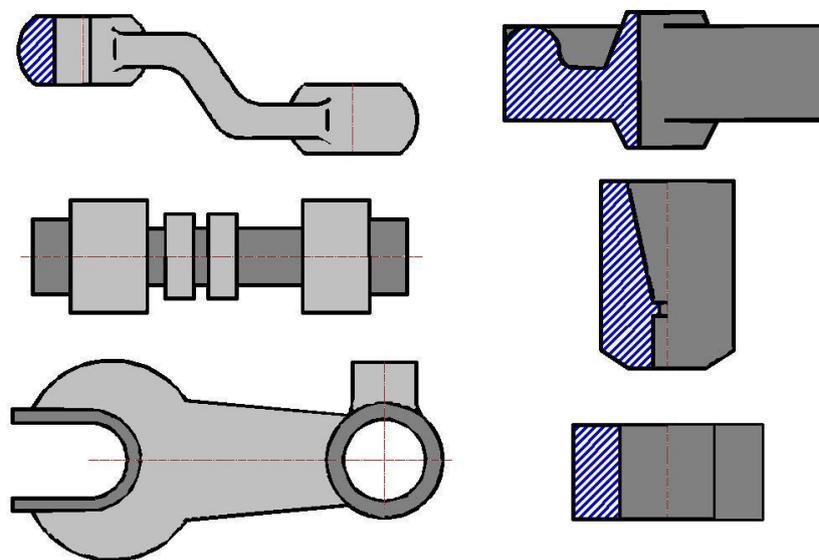


Рис. 3.28. Штампованные поковки

Полость внутри штампа называют *ручьём*. В качестве заготовок для горячей штамповки используют прокат круглого, квадратного, прямоугольного профилей, реже – периодический прокат. Горячей объём-

ной штамповкой получают заготовки сложной конфигурации (шестерни, коленчатые валы, кронштейны, рычаги и др.) для деталей автомобилей, тракторов, самолётов, железнодорожных вагонов, станков и т. д. (рис. 3.28).

Штамповка в открытых и закрытых штампах

В зависимости от типа штампа различают **штамповку в открытых штампах** и в **закрытых**. **Открытыми штампами** называют такие, у которых вокруг всего контура ручья имеется специальная **облойная канавка 1**, соединённая тонкой щелью h_3 с полостью штампа (рис. 3.29, а). Избыток металла при штамповке вытесняется в **облой** (заусенец), что позволяет не предъявлять особо высоких требований к точности заготовок по объёму. Заусенец затем обрезается в специальных штампах.

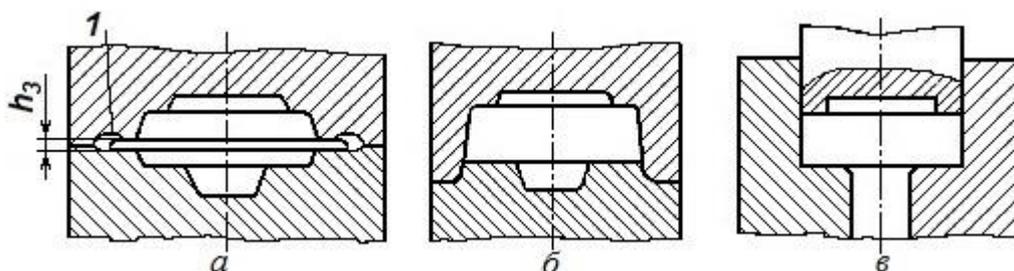


Рис. 3.29. Схемы штамповки в открытых и закрытых штампах:
1 – облойная канавка

Штамповка в **закрытых штампах** (рис. 3.29, б) осуществляется без облоя. В этом случае необходимо строго соблюдать равенство объёмов заготовки и поковки, т. е. отрезка заготовок должна проводиться с высокой точностью.

Преимуществом штамповки в закрытых штампах является уменьшение расхода металла, так как нет отхода в заусенец.

Особенности конструирования штампованных поковок

Чертёж поковки разрабатывают по чертежу детали. При получении поковок в откры-

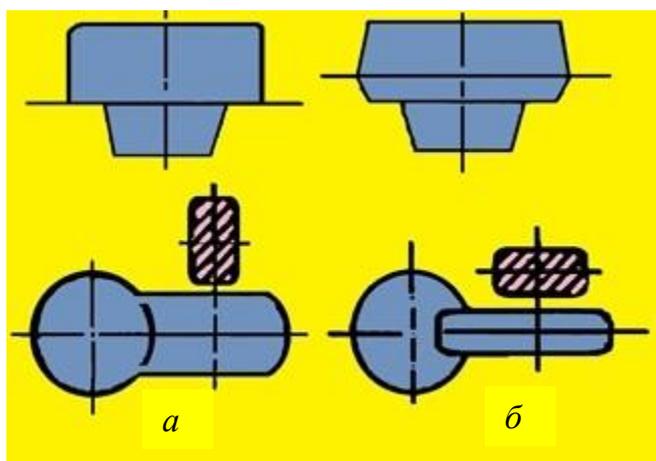


Рис. 3.30. Выбор плоскости разъёма штампа:
а – неправильно; б – правильно

тых штампах вначале выбирается поверхность разъёма штампа, т. е. поверхность, по которой соприкасаются нижняя и верхняя половины штампа. Её выбирают так, чтобы поковка легко извлекалась из полости штампа. Глубина полостей в половинах штампа должна быть минимальной и примерно одинаковой (рис. 3.30). Затем назначают напуски, припуски на механическую обработку и допуски на размеры.

Для свободного извлечения поковки из штампа назначают *штамповочные уклоны* ($3\text{--}10^\circ$). Все пересекающиеся поверхности поковки сопрягаются по радиусам (наружные радиусы 1–6 мм, внутренние – в 3–4 раза больше). Затем назначают припуск на усадку (при охлаждении объём металла уменьшается). После всего этого по чертежу поковки (рис. 3.31) выполняют чертёж штампа, на котором предусматривают облойную канавку.

Чертёж поковки при штамповке в закрытых штампах с одной плоскостью разъёма составляют так же, но плоскость разъёма выбирают по наибольшей торцевой поверхности детали.

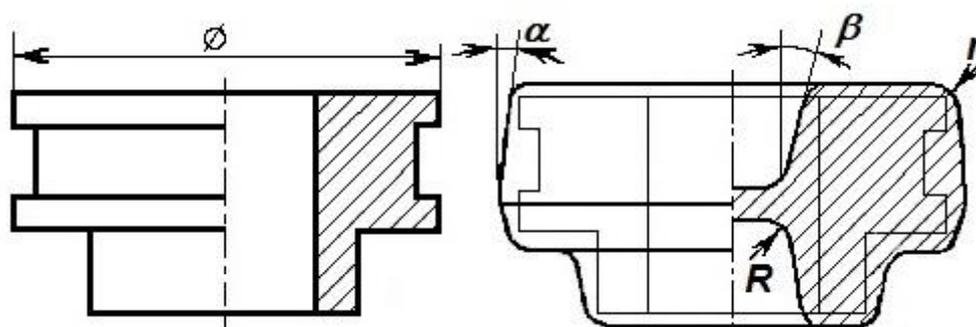


Рис. 3.31. Пример составления чертежа поковки:
а – деталь; б – поковка

Получение штампованных поковок

Поковки простой конфигурации штампуют в штампах с одной полостью, т. е. ***одноручьевых***. Поковки сложной формы с резкими изменениями сечений по длине, с изогнутой осью получить в одноручьевом штампе невозможно, поэтому применяют ***мнгоручьевые штампы*** с заготовительными и штамповочными ручьями (рис. 3.32) или одноручьевые ***заготовительные*** и ***чистовые штампы***, установленные на отдельных штамповочных машинах. К ***заготовительным ручьям***, служащим для получения фасонной заготовки, относятся: протяжной, подкатной, пережимной, формовочный, гибочный, площадка для осадки, от-

рубной нож. К *штамповочным ручьям* относятся черновой и окончательный чистовой ручей, в котором получают готовую поковку.

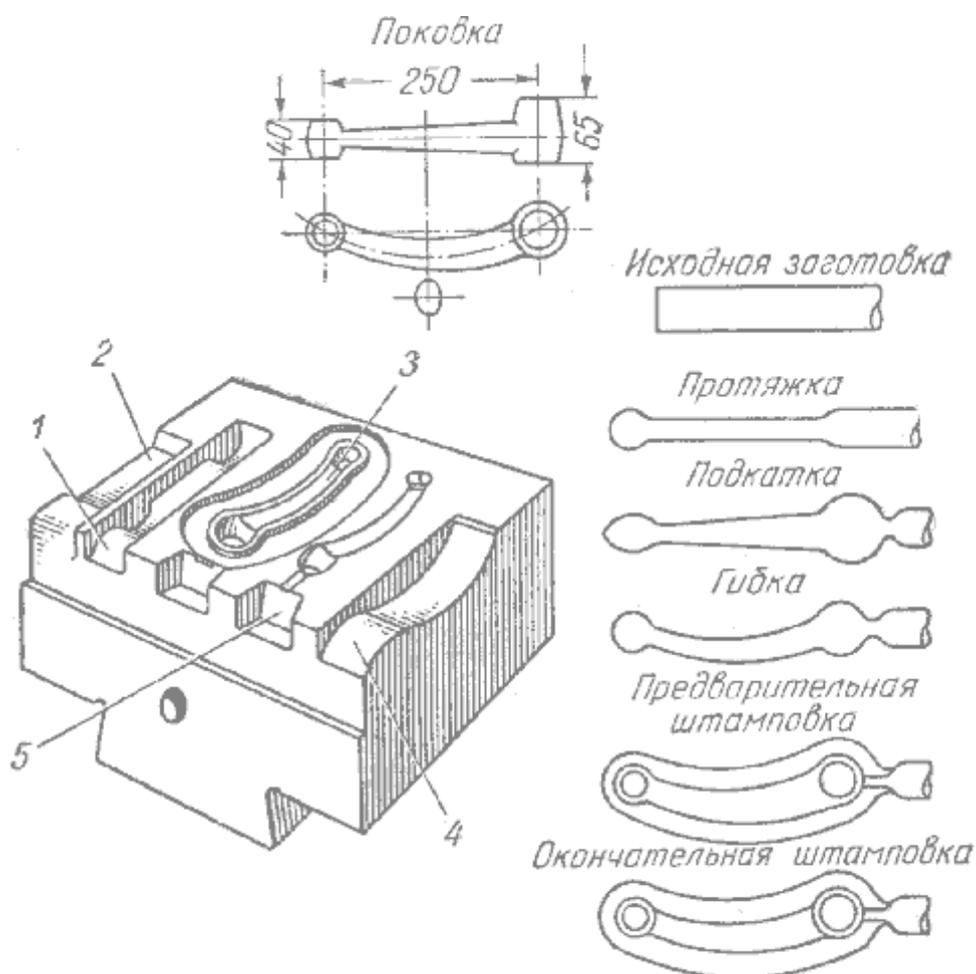


Рис. 3.32. Многоручьевой молотовой штамп

Технологический процесс горячей объёмной штамповки:

1. Раскрой проката на мерные заготовки.
2. Нагрев заготовок.
3. Штамповка.
4. Отделочные операции:
 - а) обрезка облоя, пробивка плёнок;
 - б) термообработка (при необходимости);
 - в) правка – устранение короблений, искривлений и т. п.;
 - г) очистка от окалины (в галтовочных барабанах, дробеструйных камерах, травление в кислотах);
 - д) контроль размеров и чистоты поверхности.

Оборудование для объёмной штамповки

Для горячей объёмной штамповки применяют молоты, кривошипные горячештамповочные прессы, горизонтально-ковочные машины, гидравлические прессы, винтовые прессы и машины для специализированных процессов штамповки.

Основным видом штамповочных молотов являются *паровоздушные штамповочные молоты*. Принцип действия их аналогичен ковочным паровоздушным молотам, но конструкция другая. У них стойки станины крепятся непосредственно к шаботу; имеют усиленные регулируемые направляющие для движения бабы. Масса шабота в 20–30 раз больше массы падающих частей. Эти особенности обеспечивают необходимую точность соударения штампов.

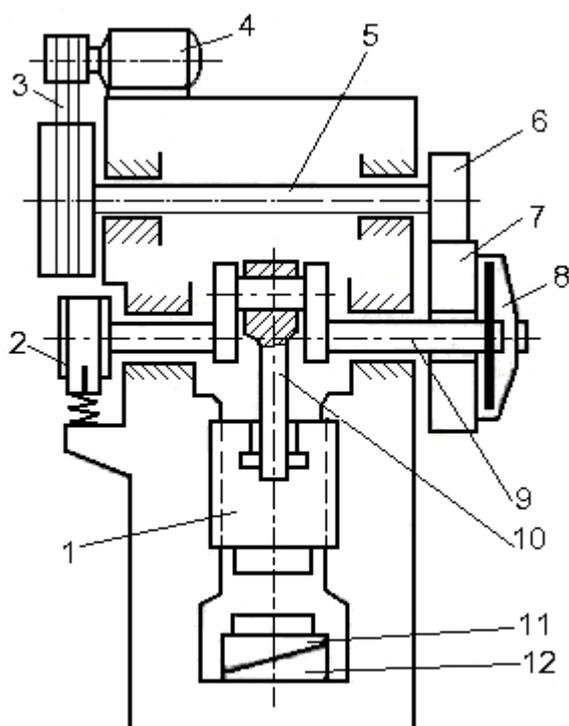


Рис. 3.33. Кинематическая схема кривошипного горячештамповочного прессы

Кривошипные горячештамповочные прессы (рис. 3.33). Электродвигатель 4 передает движение клиновыми ремнями на шкив 3, сидящий на валу 5, на другом конце которого закреплено малое зубчатое колесо 6. Это колесо находится в зацеплении с большим зубчатым колесом 7, свободно вращающимся на кривошипном валу 9.

При помощи пневматической фрикционной дисковой муфты 8 зубчатое колесо 7 может быть сцеплено с кривошипным валом 9, чтобы привести его во вращение. Посредством шатуна 10 вращение кривошипного вала преобразуется в возвратно-поступательное движение ползуна 1. Для остановки вращения кривошипного вала служит тормоз 2.

Стол прессы 11 может перемещаться клином 12 и таким образом регулировать высоту штамповочного пространства. Для облегчения удаления поковки из штампа прессы имеют выталкиватели в столе и ползуне. Они срабатывают при ходе ползуна вверх. Длина хода ползуна постоянна (равна удвоенному радиусу кривошипа), поэтому в каждом ручье штампуют за один ход прессы (на молотах до 3–5 ударов).

Преимущества:

- производительность штамповки на прессах выше, чем на молотах;
- большая точность поковок по высоте;
- штамповочные уклоны меньше, так как есть выталкиватели;
- возможность механизации и автоматизации процесса.

Недостатки: стоимость пресса в 3–4 раза выше стоимости молота.

Горизонтально-ковочные машины (ГКМ). Эти машины имеют штампы, состоящие из трёх частей (рис. 3.34): неподвижной матрицы 3, подвижной матрицы 5 и пуансона 1. Пруток 4 с нагретым участком на конце закладывают в неподвижную матрицу 3. Положение прутка определяется упором 2. При включении машины подвижная матрица 5 прижимает пруток к неподвижной матрице, упор 2 автоматически отходит в сторону, и после этого пуансон 1 деформирует выступающую часть прутка. Металл заполняет формирующую полость в матрицах и в пуансоне (если она в нем есть). После деформирования пуансон движется в обратном направлении, матрицы разжимаются и поковку вынимают.

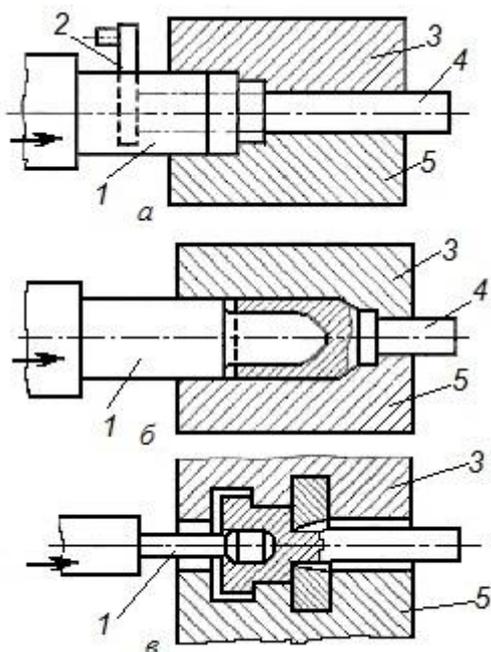


Рис. 3.34. Схема основных операций при штамповке на горизонтально-ковочной машине

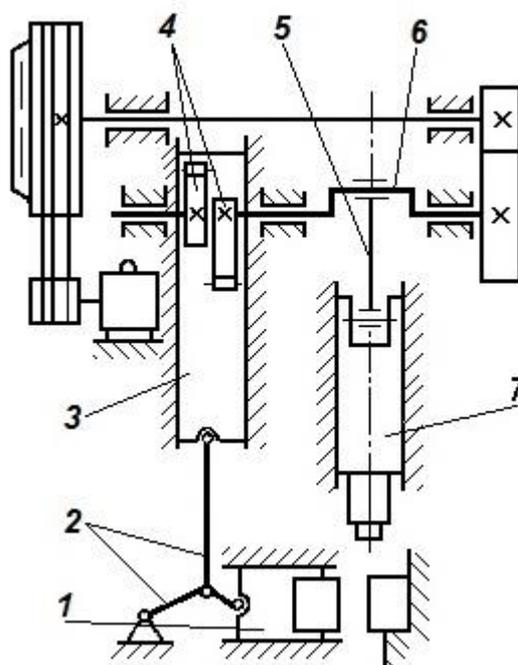


Рис. 3.35. Кинематическая схема горизонтально-ковочной машины (вид сверху)

Кинематическая схема ГКМ дана на рис. 3.35. Главный ползун 7, несущий пуансон, приводится в движение от кривошипного вала 6 с помощью шатуна 5.

Подвижная щека 1 приводится от бокового ползуна 3 системой рычагов 2; боковой ползун, в свою очередь, – кулачками 4, сидящими на конце кривошипного вала машины.

Основные операции, выполняемые на ГКМ: высадка (рис. 3.34, а) прошивка (рис. 3.34, б) и пробивка (рис. 3.34, в).

Получают изделия типа стержня с фланцем, кольца или стакана.

К *преимуществам* штамповки на ГКМ можно отнести следующее:

1. Лёгкость штамповки таких деталей, которые на другом оборудовании рационально изготовить нельзя (поковки типа стержня с фланцем).
2. Так как штамп состоит из трёх частей, напуски на поковках и штамповочные уклоны малы или отсутствуют.
3. Получение поковок высокой точности.
4. Легкость автоматизации.
5. Безударную, спокойную и безопасную работу.

Недостатки:

1. Меньшая универсальность по сравнению с молотами и прессами; резко ограниченная номенклатура поковок; относительно небольшие размеры и масса поковок (до 150 кг).
2. Низкая стойкость штампов.
3. Необходимость очистки нагретого прутка от окалины.
4. Высокая стоимость (поковки примерно в 1,5 раза дороже, чем полученные на КГШП).

Гидравлические штамповочные прессы. Устройство этих прессов принципиально не отличается от ковочных. Усилие современных гидравлических прессов достигает 750 МН, т. е. они относятся к наиболее мощному штамповочному оборудованию.

На гидравлических прессах штампуют поковки типа дисков, коленчатых валов, различного рода рычагов, кронштейнов; толстостенных сферических днищ, стаканов, крупногабаритных панелей и рам из лёгких сплавов в самолётостроении. Исходной заготовкой является прокат и полуфабрикатковки.

3.4.2. Холодная объёмная штамповка

Выполняется без нагрева, ниже температуры рекристаллизации.

Разновидности:

1. **Холодное выдавливание** – по схеме прессования, т. е. заготовку, отрезанную от прутка (не слиток), помещают в полость, из которой металл может выдавливаться в отверстия, имеющиеся в рабочем инструменте. Различают прямое, обратное, боковое и комбинированное выдавливание.

Холодным выдавливанием получают болты, тарельчатые клапаны, корпуса тьюбиков, тройники, крестовины и т. п.

2. **Холодная высадка** – по схеме штамповки на ГКМ изготавливают гвозди, заклепки, шурупы, винты, болты, шарики, ролики, гайки, звёздочки.

3. **Объёмная формовка** – штамповка в открытых штампах, иногда за несколько переходов с промежуточным отжигом.

4. **Чеканка** – получение рельефа путем незначительных деформаций. Изготавливают монеты, медали, значки.

3.4.3. Холодная листовая штамповка

Холодная листовая штамповка – способ изготовления плоских и пространственных изделий с помощью штампов из листового материала, ленты или полосы. Обычно используют пластичные металлы и сплавы: малоуглеродистые стали, сплавы алюминия, меди, титана, магния и др.

Листовой металл толщиной свыше 15 мм, как правило, штампуют в горячем виде (**горячая листовая штамповка**).

Все операции холодной листовой штамповки разделяют на *разделительные*, в которых этап пластической деформации всегда завершается разрушением, и *формоизменяющие*, в которых заготовка не должна разрушаться в процессе деформирования.

Разделительные операции

1. **Отрезка** – отделение части заготовки по замкнутому контуру в штампах или на машинах-ножницах.

Основные типы ножниц:

а) *гильтинные* (рис. 3.36, а). Нож соприкасается с заготовкой в одной точке, следовательно, сопротивление срезанию минимально. Длина отрезаемой полосы L не должна превышать длины ножей.

б) *дисковые* (рис. 3.36, б). Вращение дисковых ножей обеспечивает не только деление, но и подачу заготовки действием сил трения. Длина отрезаемой полосы не ограничивается инструментом. Прямолинейность реза обеспечивается скольжением разделяемых частей заготовки по поверхностям ножей.

2. **Вырубка** – отделение части заготовки по замкнутому контуру, причём отделяемой частью является деталь (изделие), – показана на рис. 3.37.

3. **Пробивка** – образование в заготовке отверстия или паза с удалением части металла в отход (рис. 3.37).

Вырубку и пробивку осуществляют пуансоном и матрицей, конфигурации которых соответствуют конфигурации детали. Пуансон выдавливает часть заготовки в отверстие матрицы.

4. **Надрезка** – отделение части заготовки по незамкнутому контуру.

5. **Обрезка** – отделение краевой части заготовки для получения готового изделия.

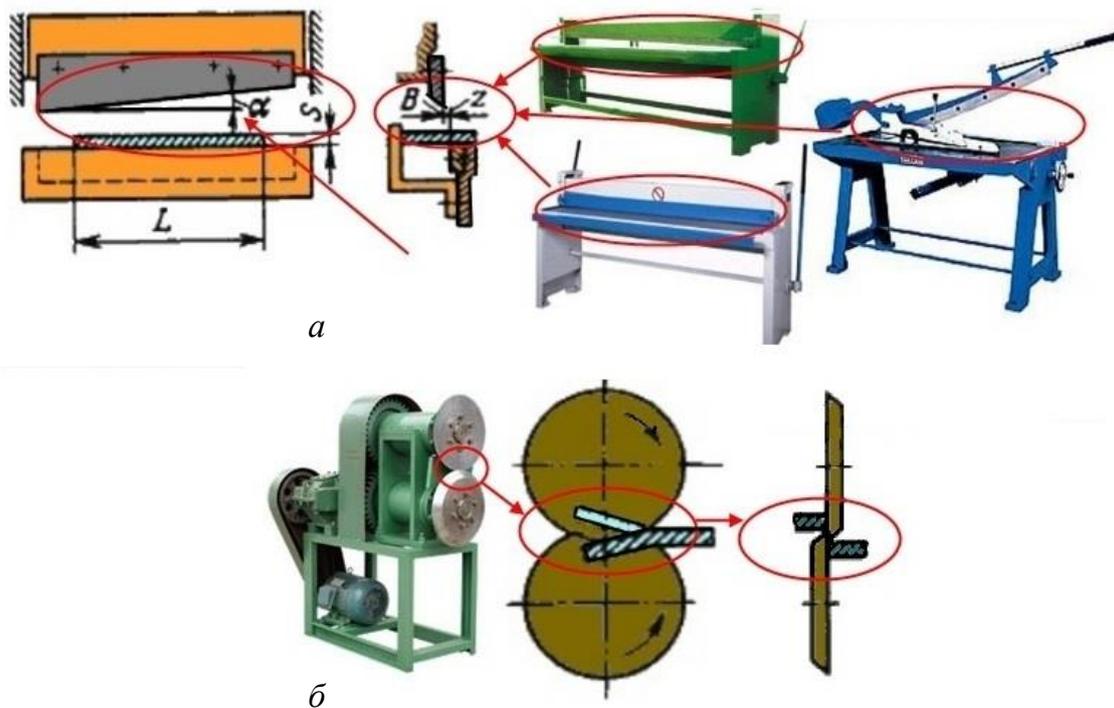


Рис. 3.36. Схемы действия ножниц:
а – гильотинных; б – дисковых

Формоизменяющие операции

Это операции, в результате которых изменяется форма заготовки путём пластического деформирования.

1. **Гибка** – изменение кривизны заготовки без изменения её размеров (рис. 3.38).

2. **Вытяжка** – получение полой заготовки или изделия из плоской заготовки (рис. 3.39).

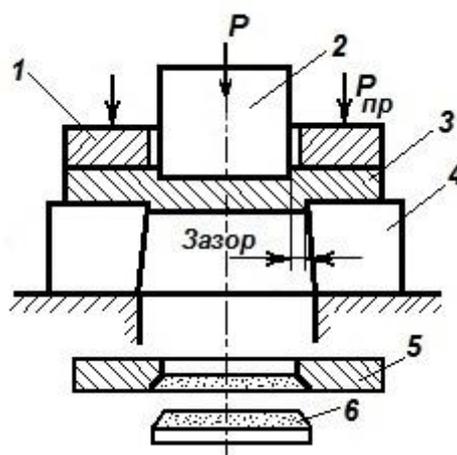


Рис. 3.37. Схема вырубki (пробивки):
1 – прижим; 2 – пуансон; 3 – заготовка;
4 – матрица; 5 – отход (изделие);
6 – изделие (отход)

3. **Протяжка** – вытяжка с утонением стенки (рис. 3.40, б). Исходная заготовка – предварительно вытянутое изделие. Зазор между пуансоном и матрицей меньше толщины стенки, которая, сжимаясь между поверхностями пуансона и матрицы, утоняется и одновременно удлиняется.

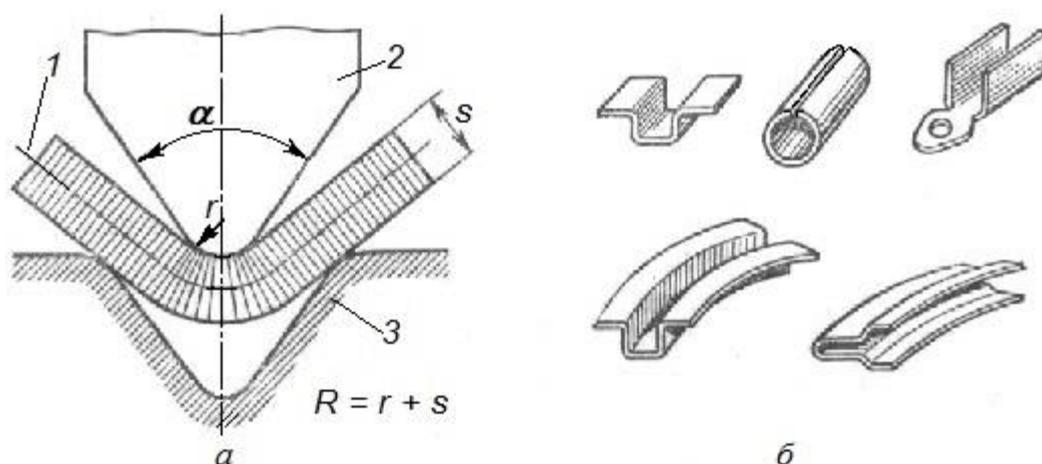


Рис. 3.38. Схема гибки (а) и изделия, получаемые с её использованием (б):
1 – нейтральный слой; 2 – пуансон; 3 – матрица

4. **Отбортовка** – получение бортов по внутреннему и (или) наружному контуру заготовки (рис. 3.41, а).

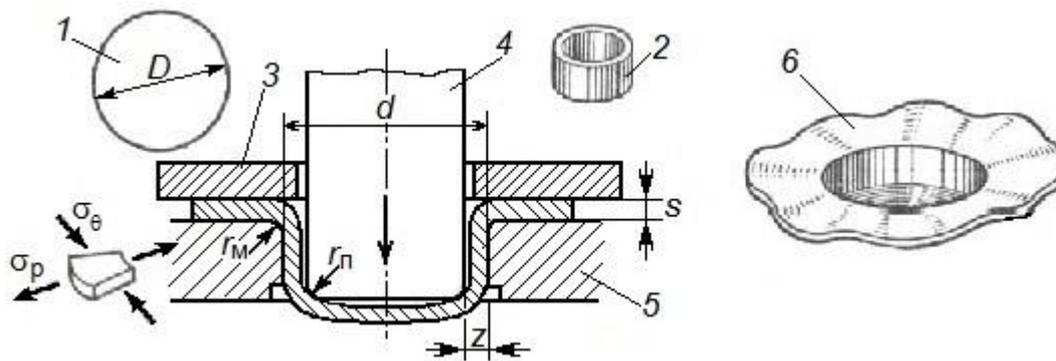


Рис. 3.39. Схема вытяжки:
1 – заготовка; 2 – изделие; 3 – прижим;
4 – пуансон; 5 – матрица; 6 – изделие со складками,
образующимися при вытяжке без прижима

5. **Обжим** – уменьшение диаметра части полой заготовки путём проталкивания её в сужающийся канал матрицы (рис. 3.41, б).

б. **Формовка** – получение рельефа незначительной высоты за счёт местных деформаций (рис. 3.41, в). Применяется для получения рёбер жёсткости на плоских поверхностях, нанесения знаков, клейм, надписей и т. п. При деформировании может использоваться металлический пуансон, а также резиновая подушка или жидкость.

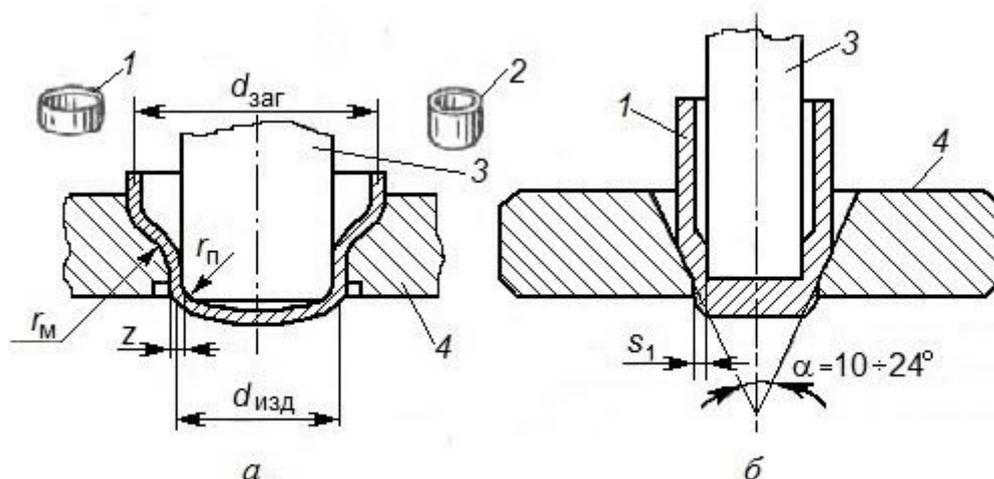


Рис. 3.40. Схемы последующей вытяжки (а) и вытяжки с утонением стенки (б):
1 – заготовка; 2 – изделие; 3 – пуансон; 4 – матрица

Штампы для листовой штамповки

Штампы, применяемые для листовой штамповки, делятся на простые (однооперационные), штампы последовательного действия и штампы совмещенного действия. *Простые штампы* выполняют какую-либо одну операцию листовой штамповки.

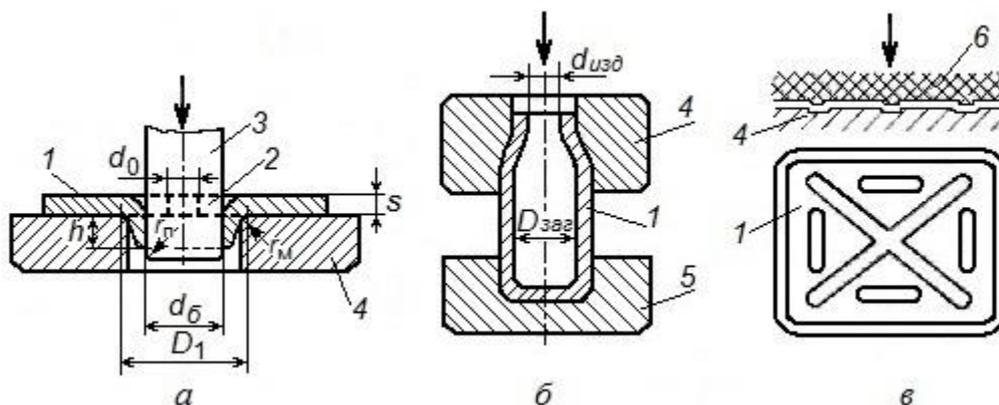


Рис. 3.41. Схемы отбортовки (а), обжима (б) и формовки (в):
1 – изделие; 2 – заготовка; 3 – пуансон; 4 – матрица,
5 – подставка-упор; 6 – резиновая подушка

Штампы последовательного действия за один ход прессы выполняют несколько операций листовой штамповки в различных позициях по направлению подачи, так что для очередной операции заготовка перемещается на шаг подачи. На рис. 3.42 показано, что в позиции I происходит пробивка, а после перемещения полосы на шаг подачи (позиция II) – вырубка, в результате чего получают изделие в виде шайбы.

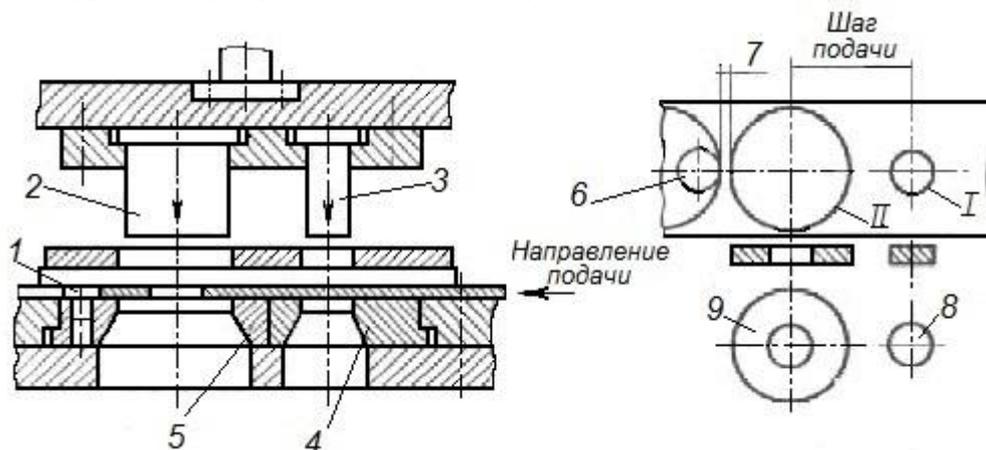


Рис. 3.42. Схема штампа последовательного действия для пробивки и вырубки: 1 – упор; 2 – пуансон вырубки; 3 – пуансон пробивки; 4 – матрица пробивки; 5 – матрица вырубки; 6 – упор; 7 – перемычка; 8 – отход; 9 – изделие

Штампы совмещенного действия выполняют за один ход ползуна несколько операций, без перемещения заготовки в направлении подачи (рис. 3.43).

Основным видом оборудования для листовой штамповки являются кривошипные и гидравлические прессы, а также ножницы. Для повышения производительности прессы оснащают устройствами, механизмирующими подачу заготовки к инструменту и удаление отштампованных деталей из прессы.

Высокоскоростная штамповка

Основными разновидностями высокоскоростной листовой штамповки являются штамповка взрывом, электрогидравлическая и электромагнитная.

Взрывом штампуют обычно в бассейне с водой (рис. 3.44). Заряд с детонатором подвешивают в воде над заготовкой, зажатой между матрицей и прижимом.

Полость матрицы под заготовкой вакуумируется, чтобы воздух не препятствовал её плотному прилеганию к матрице. Взрыв образует ударную волну, которая, достигая заготовки, вызывает её разгон и де-

формацию. При штамповке взрывом не требуется дорогого прессового оборудования, конструкция штампа очень проста.

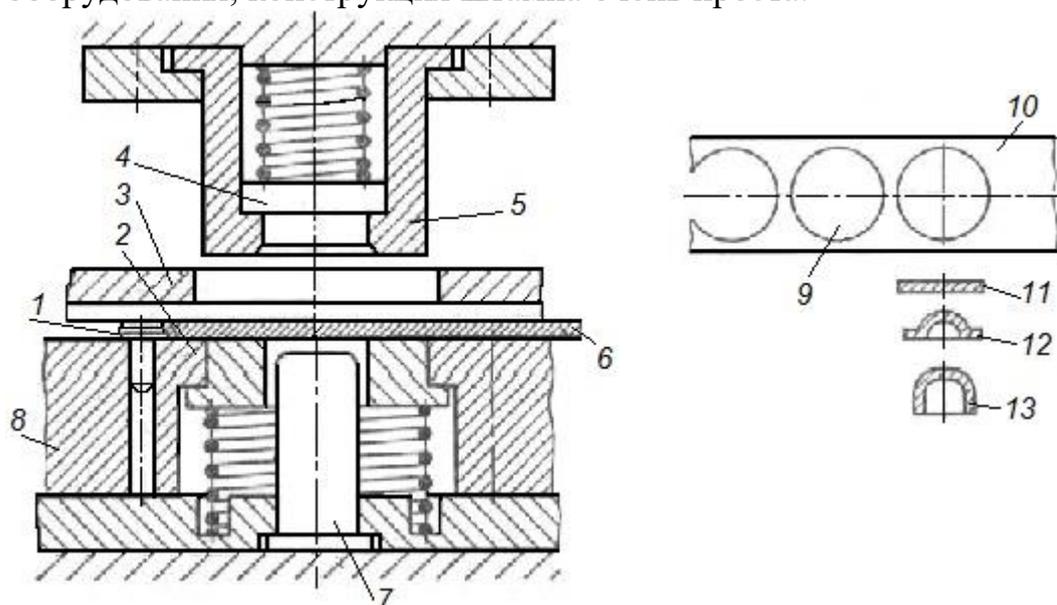


Рис. 3.43. Схема штампа совмещенного действия для вырубki и вытяжки:

- 1 – упор; 2 – прижим; 3 – съёмник; 4 – выталкиватель;
 5 – пуансон вырубki и матрица вытяжки; 6 – исходная листовая заготовка; 7 – пуансон вытяжки; 9 – отход; 10 – полоса;
 11 – вырубленная заготовка; 12 – начало вытяжки, 13 – изделие

Электрогидравлическую штамповку также проводят в бассейне с водой. В результате кратковременного электрического разряда в жидкости возникает ударная волна, которая, дойдя до заготовки, деформирует её по матрице. Мощный искровой разряд подобен взрыву.

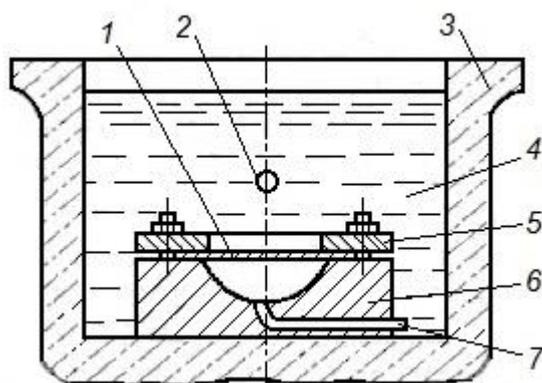


Рис. 3.44. Схема штамповки взрывом деталей из плоской заготовки:

- 1 – заготовка, 2 – заряд взрывчатого вещества,
 3 – бассейн, 4 – передающая среда,
 5 – прижимное кольцо, 6 – матрица,
 7 – вакуумная система

Схема **электромагнитной штамповки** приведена на рис. 3.45.

Электрическая энергия преобразуется в механическую за счёт импульсного разряда батареи конденсаторов через соленоид I , вокруг которого при этом возникает мгновенное магнитное поле высокой мощности, наводящее вихревые токи I_B в

трубчатой токопроводящей заготовке 3. Вихревые токи образуют своё магнитное поле, которое, взаимодействуя с полем соленоида, отталкивается от него и создаёт механические силы q , деформирующие заготовку по пуансону 2 или матрице. Для электромагнитной штамповки трубчатых и плоских заготовок созданы установки, на которых производят раздачу, обжим, формовку, пробивку, а также сборочные операции – пластическое деформирование одной детали по контуру другой.

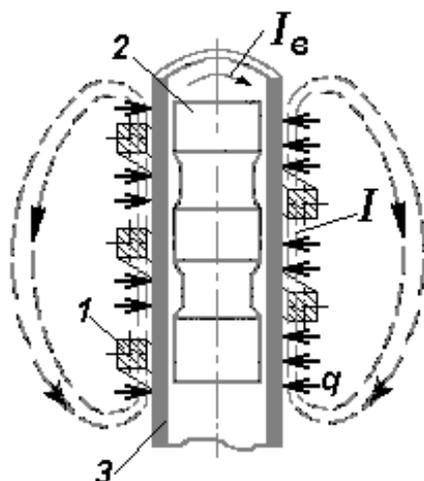


Рис. 3.45. Схема электромагнитной штамповки

К *достоинствам* листовой штамповки относятся:

1. Возможность получения деталей минимальной массы при заданной их прочности и жёсткости.
2. Достаточно высокие точность размеров и качество поверхности.
3. Сравнительная простота механизации и автоматизации процессов штамповки, обеспечивающая высокую производительность:

30–40 тыс. деталей в смену с одной машины.

4. Хорошая приспособленность к масштабам производства, при которой листовая штамповка может быть экономически целесообразной и в массовом, и в мелкосерийном производствах. Диапазон размеров штампуемых листовых деталей очень большой: по габаритным размерам – от долей миллиметра (секундная стрелка ручных часов) до 6–7 метров (облицовка автомобиля, самолёта, ракеты); по толщине – от десятых долей миллиметра до 100 мм и выше.

Листовую штамповку широко применяют в машиностроении, приборостроении, радиотехнической и электронной промышленности. Удельный вес листовой штамповки по расходу материалов в основных отраслях машиностроения и производства товаров народного потребления составляет 60–98 %.

3.5. Волочение

3.5.1. Инструмент и оборудование

Процесс *волочения* заключается в протягивании заготовки через постепенно сужающееся отверстие в инструменте, называемом волокой. *Волока* (фильера, матрица) представляет собой кольцо (рис. 3.46, а), ра-

бочее отверстие которого состоит из входной (или смазочной) зоны I, деформирующей зоны II, калибрующего пояска III и выходного конуса IV. Её изготавливают из инструментальной стали, металлокерамических сплавов и алмазов (для волочения проволоки диаметром менее 0,2 мм).

Волочильные станы разделяют на барабанные, цепные и реечные.

Барабанные станы (рис. 3.46, б) служат для волочения проволоки и труб небольшого диаметра, наматываемых на вертушку 1. Предварительно заостренный конец проволоки пропускается через отверстие волоки 2 и закрепляется на барабане 3, который приводится во вращение от электродвигателя через редуктор и зубчатую передачу 4. Существуют также станы многократного волочения, имеющие до 20 барабанов с установленными перед каждым из них волоками.

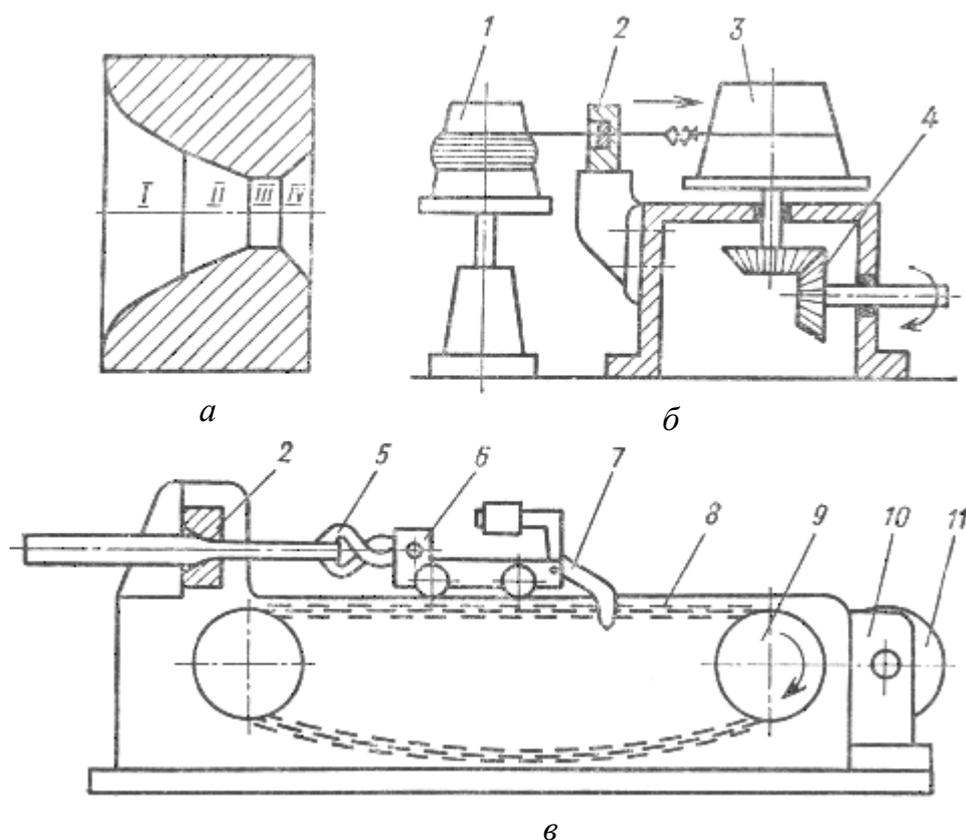


Рис. 3.46. Продольный разрез волоки (а) и схемы барабанного (б) и цепного (в) волочильных станов

Цепные станы с прямолинейным движением тянущего устройства (рис. 3.46, в) применяют для волочения прутков и труб, которые не могут наматываться в бунты. На этом стане конец прутка пропускают через отверстие волоки 2 и захватывают клещами 5, которые закреплены на каретке 6. Каретка через тяговый крюк 7 перемещается пластин-

чатой цепью 8, приводимой в движение от звездочки 9, которая вращается от электродвигателя 11 через редуктор 10.

Волочение, как правило, осуществляют в холодном состоянии, а потому оно сопровождается упрочнением (наклёпом) металла. Исходными заготовками служат прокатанные или прессованные прутки и трубы из стали, цветных металлов и их сплавов. Величина деформации за один проход ограничена: $\mu = 1,25-1,45$. Если для получения необходимых профилей требуется большая деформация, то применяют волочение за несколько переходов протягиванием через ряд постепенно уменьшающихся по величине отверстий. Для снятия наклёпа после каждого перехода металл подвергают промежуточному отжигу. Для уменьшения силы трения металла об инструмент полируют отверстие в волоке и применяют различные смазки – минеральные масла, олифу, графит, тальк, мыла, фосфатные и металлические покрытия.

3.5.2. Продукция, получаемая волочением

Сортамент изделий, изготовленных волочением, очень разнообразен: проволока 0,002–10 мм и фасонные профили (рис. 3.47, б), трубы диаметром от 0,3 до 500 мм с толщиной стенки от 0,05 до 5–6 мм.

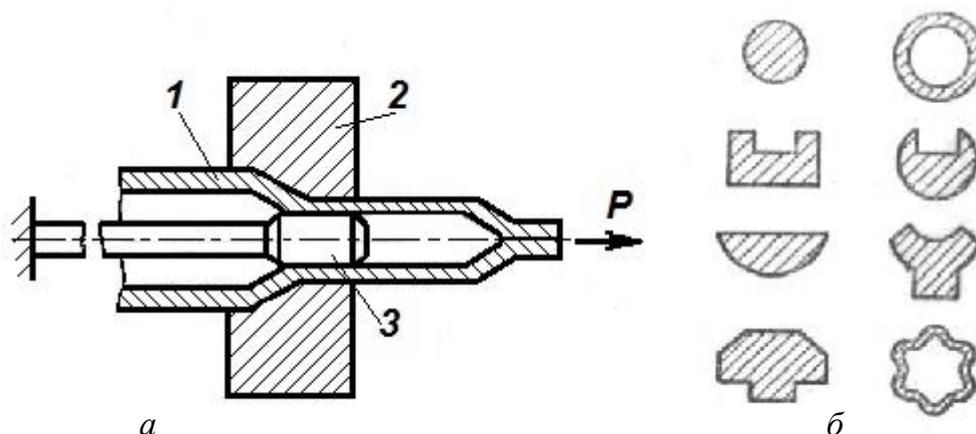


Рис. 3.47. Схема волочения трубы (а); профили, получаемые волочением (б)

Волочение труб можно выполнять без оправки, для уменьшения только внешнего диаметра (*редуцирование*), и с оправкой (для уменьшения внешнего диаметра и толщины стенки). На рис. 3.47, а, показана схема волочения трубы 1 на длинной закреплённой оправке 3. В этом случае профиль полученной трубы определяется зазором между волокой 2 и оправкой 3. Волочение обеспечивает высокую точность размеров (стальная проволока диаметром 1,0–1,6 мм имеет допуск 0,02 мм), высокое качество поверхности, получение очень тонких профилей. Ме-

тод дает возможность широко варьировать (за счет наклёпа, а также термической обработки) диапазон прочностных и пластических свойств металла готового изделия, резко сокращает отходы и увеличивает производительность. Волочение – процесс универсальный (простота и быстрота замены инструмента), поэтому очень распространённый.

3.6. Прессование

Прессование – процесс получения изделий путём выдавливания нагретого металла из замкнутой полости через отверстие инструмента. Существуют два метода прессования: прямой и обратный (рис. 3.48).

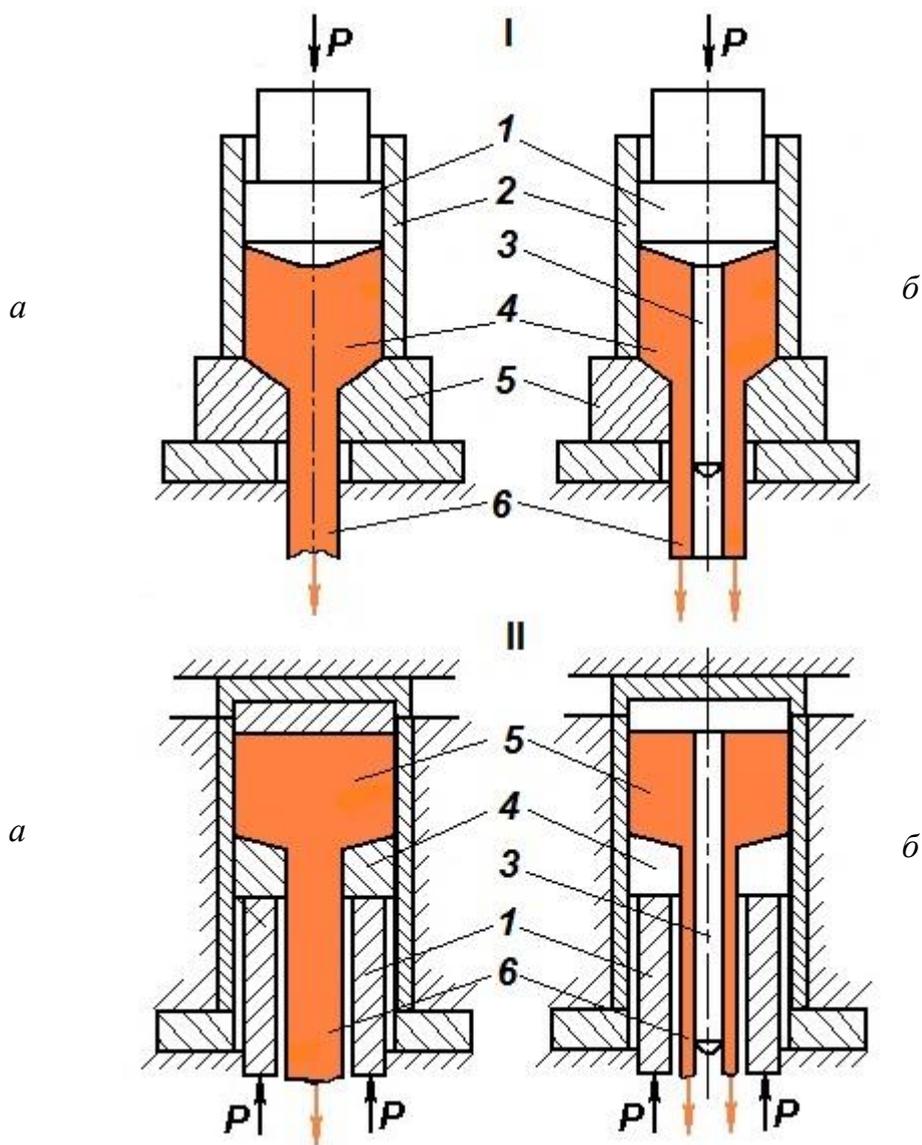


Рис. 3.48. Прямое (I) и обратное (II) прессование прутков (а) и труб (б):
 1 – пуансон; 2 – контейнер; 3 – трубная оправка (игла);
 4 – матрица; 5 – прессуемый металл; 6 – получаемый профиль

При *прямом прессовании* металл выдавливается в направлении движения пуансона. При *обратном прессовании* металл движется из контейнера навстречу движению пуансона.

3.6.1. Оборудование и инструмент

Для прессования применяют гидравлические прессы с горизонтальным или вертикальным расположением пуансона.

Инструмент для прессования состоит из *контейнера, матрицы, пуансона (штемпеля), иглы и иглодержателя* (при прессовании полых профилей и труб). Инструмент работает в очень тяжёлых условиях: при температурах 800–1200 °С и при высоких удельных нагрузках. Его изготавливают из высококачественных инструментальных сталей и жаропрочных сплавов. Износ инструмента уменьшают применением смазок: графит, стекло, порошки меди, никеля, окись цинка, дисульфид молибдена и др.

3.6.2. Особенности и применение прессования

При прессовании реализуется схема *всестороннего неравномерного сжатия*, при которой даже хрупкие материалы типа мрамора и малопластичные металлы и сплавы имеют весьма высокую пластичность. То есть, прессованием можно обрабатывать материалы, которые ввиду их низкой пластичности другими методами деформировать невозможно (например, чугуны). Коэффициент вытяжки μ при прессовании может быть равным 30–50.

Прессованием получают простые профили (круг, квадрат) и профили очень сложных форм, которые нельзя получить другими видами ОМД (рис. 3.49).

К *преимуществам* прессования относятся следующие. Точность прессованных профилей выше, чем прокатанных. Процесс универсален с точки зрения перехода с размера на размер и с одного типа профиля на другой. Смена инструмента не требует больших затрат времени.

Возможность достижения очень высоких степеней деформа-

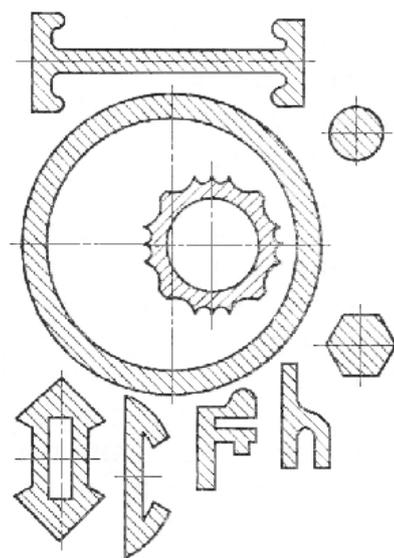


Рис. 3.49. Прессованные профили

ции делает этот процесс высокопроизводительным. Скорости прессования достигают 5 м/с и более.

Из **недостатков** следует указать: повышенный отход материала в *пресс-остаток* (10–20 %), так как весь металл не может быть выдавлен из контейнера; неравномерность деформации в контейнере; высокую стоимость и расход инструмента; повышенные энергозатраты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов В.А. Специальные виды литья: Учебное пособие. — М.: МГИУ, 2007. — 316 с.
2. Кудрин В.А. Теория и технология производства стали: Учебник для вузов. — М.: «Мир», 2003. — 528 с.
3. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: Учебное пособие / Под ред. В.С. Чередниченко. — М.: Изд. «Омега-Л», 2009. — 752 с.
4. Обработка металлов давлением / Под ред. Ю.Ф. Шевакина. — М.: Интермет Инжиниринг, 2005. — 496 с.
5. Технология конструкционных материалов: Учебник для вузов / А.М. Дальский, Т.М. Барсукова, Л.Н. Бухаркин и др.; Под ред. А.М. Дальского. — М.: Машиностроение, 2005. — 592 с.
6. Технология литейного производства: Литьё в песчаные формы: Учебник для вузов / Под ред. А.П. Трухова. — М.: «Академия», 2005. — 528 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	3
1. МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО	4
1.1. Структура металлургического производства	4
1.2. Материалы для производства чугуна и стали	5
1.3. Производство чугуна	6
1.3.1. Технология доменной плавки	6
1.3.2. Устройство и работа доменной печи	7
1.3.3. Реакции металлургического процесса доменной печи	8
1.3.4. Продукты доменной плавки	10
1.4. Производство стали	11
1.4.1. Технология выплавки стали	11
1.4.2. Производство стали в кислородных конвертерах	11
1.4.3. Производство стали в мартеновских печах	13
1.4.4. Производство стали в электропечах	17
1.4.5. Разливка стали	22
1.4.6. Способы повышения качества стали	24
1.5. Производство цветных металлов	25
1.5.1. Производство меди	25
1.5.2. Производство алюминия	27
1.6. Порошковая металлургия	29
2. ОСНОВЫ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА	33
2.1. Плавильные агрегаты	33
2.2. Литейные свойства сплавов	35
2.3. Литье в песчаные формы	36
2.3.1. Свойства формовочных смесей	38
2.3.2. Ручная формовка	39
2.3.3. Машинная формовка	39
2.4. Специальные способы литья	41
2.4.1. Литье в оболочковые формы	41
2.4.2. Литье по выплавляемым моделям	43
2.4.3. Литье в металлические формы	44
2.4.4. Литье под давлением	46
2.4.5. Центробежное литье	48
2.4.6. Другие способы литья	49
2.5. Дефекты отливок	52
2.6. Отходы литейного производства	55
3. ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ (ОМД)	57
3.1. Теоретические основы обработки металлов давлением	57

3.1.1. Зависимость свойств деталей от направления волокон в металле	60
3.1.2. Нагрев металла под обработку давлением	61
3.1.3. Нагревательные устройства	63
3.2. Прокатка	66
3.2.1. Продукция прокатного производства	67
3.2.2. Инструмент и оборудование для прокатки	68
3.2.3. Производство сортового проката	71
3.2.4. Производство листового проката	71
3.2.5. Производство труб	73
3.2.6. Производство проволоки	74
3.2.7. Производство специальных видов проката	74
3.2.8. Производство гнутых профилей	75
3.3. Ковка	77
3.3.1. Операцииковки	78
3.3.2. Особенности конструирования поковок	81
3.3.3. Механизацияковки	83
3.4. Штамповка	83
3.4.1. Горячая объемная штамповка	84
3.4.2. Холодная объемная штамповка	84
3.4.3. Холодная листовая штамповка	90
3.5. Волочение	97
3.5.1. Инструмент и оборудование	97
3.5.2. Продукция, получаемая волочением	99
3.6. Прессование	100
3.6.1. Оборудование и инструмент	101
3.6.2. Особенности прессования. Применение	101
ЛИТЕРАТУРА	102

Учебное издание

ФОМИН Николай Ильич
ГЕРАСИМОВИЧ Константин Георгиевич
ЕВТЮШКИН Юрий Александрович
ХВОРОВА Ирина Александровна

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Часть 1

Учебное пособие

Научный редактор к.т.н.,
доцент Н.И. Фомин
Редактор *И.А. Хворова*
Компьютерная верстка *И.А. Хворова*
Дизайн обложки *И.О. Фамилия*

Подписано к печати 05.11.2010. Формат 60х84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл.печ.л. 6,57. Уч.-изд.л. 5,95.
Заказ . Тираж 100 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  **ТПУ** . 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru