

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Учебная программа дисциплины

➤ Конспект лекций

Методические указания по самостоятельной работе

Банк тестовых заданий в системе UniTest



УДК 621.791
ББК 34.62
О-72

Авторы:

**С. Б. Сидельников, Р. И. Галиев, Д. Ю. Горбунов, Е. С. Лопатина,
А. С. Пещанский**

Электронный учебно-методический комплекс по дисциплине «Основы технологических процессов обработки металлов давлением» подготовлен в рамках инновационной образовательной программы «Материаловедческое образование при подготовке бакалавров, инженеров и магистров по укрупненной группе образовательных направлений и специальностей "Материаловедение, металлургия и машиностроение" в Сибирском федеральном университете», реализованной в ФГОУ ВПО СФУ в 2007 г.

Рецензенты:

Красноярский краевой фонд науки;

Экспертная комиссия СФУ по подготовке учебно-методических комплексов дисциплин

О-72 Основы технологических процессов обработки металлов давлением. Версия 1.0 [Электронный ресурс]: конспект лекций / С. Б. Сидельников, Р. И. Галиев, Д. Ю. Горбунов и др. – Электрон. дан. (3 Мб). – Красноярск : ИПК СФУ, 2008. – (Основы технологических процессов обработки металлов давлением: УМКД № 72-2007 / рук. творч. коллектива С. Б. Сидельников). – 1 электрон. опт. диск (DVD). – Систем. требования: *Intel Pentium* (или аналогичный процессор других производителей) 1 ГГц; 512 Мб оперативной памяти; 3 Мб свободного дискового пространства; привод *DVD*; операционная система *Microsoft Windows 2000 SP 4 / XP SP 2 / Vista* (32 бит); *Adobe Reader 7.0* (или аналогичный продукт для чтения файлов формата *pdf*).

ISBN 978-5-7638-1062-2 (комплекса)

ISBN 978-5-7638-1427-9 (конспекта лекций)

Номер гос. регистрации в ФГУП НТЦ «Информрегистр» 0320802422 от 21.11.2008 г. (комплекса)

Настоящее издание является частью электронного учебно-методического комплекса по дисциплине «Основы технологических процессов обработки металлов давлением», включающего учебную программу, методические указания по самостоятельной работе, контрольно-измерительные материалы «Основы технологических процессов обработки металлов давлением. Банк тестовых заданий», а также наглядное пособие «Основы технологических процессов обработки металлов давлением. Презентационные материалы».

Изложены сведения об основных операциях и специализированных видах обработки металлов давлением, а также совмещенных процессах литья и обработки металлов давлением. Приведены и описаны типовые технологические схемы таких видов обработки металлов давлением, как прокатка, прессование, волочение, ковка и штамповка.

Предназначен для студентов спец. 150106.65 и напр. 150100.62.

© Сибирский федеральный университет, 2008

Рекомендовано к изданию
Инновационно-методическим управлением СФУ

Редактор Л. Х. Бочкарева

Разработка и оформление электронного образовательного ресурса: Центр технологий электронного обучения информационно-аналитического департамента СФУ; лаборатория по разработке мультимедийных электронных образовательных ресурсов при КрЦНИТ

Содержимое ресурса охраняется законом об авторском праве. Несанкционированное копирование и использование данного продукта запрещается. Встречающиеся названия программного обеспечения, изделий, устройств или систем могут являться зарегистрированными товарными знаками тех или иных фирм.

Подп. к использованию 01.10.2008

Объем 3 Мб

Красноярск: СФУ, 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	5
Лекция 1.....	5
1. Основы технологических процессов прокатки, прессования и волочения	11
1.1. Прокатное производство.....	11
Лекция 2.....	11
Лекция 3.....	14
1.2. Прессовое производство	20
Лекция 4.....	20
Лекция 5	28
1.3. Волочильное производство	33
Лекция 6.....	33
Контрольные вопросы	37
2. Основы технологических процессовковки и штамповки	38
2.1. Ковка.....	38
Лекция 7	38
Лекция 8	45
2.2. Объемная штамповка.....	48
Лекция 9	48
Лекция 20	53
2.3. Листовая штамповка	59
Лекция 11	59
Лекция 12	60
Контрольные вопросы	65
3. Специализированные процессы ОМД	67
3.1. Метизное производство	67
Лекция 13	67
3.2. Производство гнутых профилей	68
Лекция 14.....	68

3.3. Совмещенные процессы производства металлоизделий	71
Лекция 15	71
Лекция 16	78
Контрольные вопросы	88
Заключение	90
Лекция 17	90
Библиографический список	95

ВВЕДЕНИЕ

Лекция 1

(ауд. занятия – 2 ч, самостоят. работа – 2 ч).

Содержание и структура курса, связь его с другими дисциплинами. Общие понятия и сведения об обработке металлов давлением. Металлургические и машиностроительные предприятия по обработке черных и цветных металлов и сплавов. Классификация процессов ОМД. Экономические показатели эффективности металлообрабатывающего производства. Металлы и сплавы, используемые для изготовления изделий методами ОМД. Перспективы развития металлообработки.

Детали машин, сооружений и другие изделия современной техники изготавливаются главным образом из металлов и их сплавов на металлургических и машиностроительных заводах.

Основными методами изготовления металлических деталей и их полуфабрикатов являются литье, обработка давлением и обработка резанием. Особое место занимает обработка металлов давлением (ОМД), заключающаяся в пластическом изменении формы металла посредством его деформирования.

Дисциплина «Основы технологических процессов ОМД» изучает технологические процессы и устройства для производства и обработки изделий из черных и цветных металлов.

Целью дисциплины является формирование базовых знаний об основах технологических процессов ОМД, применяемых для изготовления изделий из черных и цветных металлов и сплавов на металлургических и машиностроительных предприятиях.

Обработка давлением позволяет получать детали или их полуфабрикаты в виде заготовок, близких по форме к готовым деталям, с большой производительностью и малыми отходами. Металл подвергается пластической деформации как в холодном, так и в горячем состоянии. В процессе пластического деформирования изменяется структура металла и повышаются его механические свойства. Поэтому наиболее тяжело нагруженные детали машин изготавливаются обработкой давлением.

Пластическое деформирование осуществляется различными способами, к числу которых относятся прокатка, свободная ковка, объемная штамповка, прессование, волочение, листовая штамповка и специализированные виды ОМД (рис. 1). Кузнечно-штамповочное производство применяется в основном на машиностроительных заводах (Сибтяжмаш, ВАЗ, Новосибирский инструментальный завод, Красмаш и др.), а прокатно-прессово-волочильное производство – на металлургических (КРАМЗ, Каменск-Уральский металлургический завод, Саянская фольга и др.). Однако есть предприятия, на которых имеются все виды производства, например, Верхне-Салдинское металлургическое производственное объединение.



Рис. 1. Классификация процессов ОМД

Вследствие возможности формообразования металла с высокой производительностью и малыми отходами, а также возможности повышения его механических свойств значение обработки давлением в современной промышленности огромно.

Обработка металлов давлением в целом является заготовительной базой машиностроения и металлургии. В конечном счете от ее качественного развития и совершенствования зависят создание мощных энергетических установок, новых летательных аппаратов, современных автомобилей и грузоподъемных машин, новейшей электронной и космической техники.

Основными потребителями продукции России и других стран (относительные объемы потребления поковок) являются (табл. 1).

Экономия металла – одна из основных задач стоящих перед ОМД. Для оценки экономических показателей используют численное отношение массы детали к массе израсходованного на него металла, называемое коэффициентом использования металла (КИМ) и выраженное в процентах. Средние значения КИМ для различных процессов ОМД приведены в табл. 2.

Таблица 1

Метод обработки	Объемы, %
Автомобилестроение	25–50
Тракторо- и сельхозмашиностроение	7–35
Железнодорожный транспорт	1–9
Горнодобывающая промышленность	2–3,5
Прочие отрасли машиностроения	23–45

Таблица 2

Метод обработки	КИМ, %
Свободная ковка	37
Горячая объемная штамповка	53
Холодная объемная штамповка	82
Холодная листовая штамповка	75
Холодная прокатка	85
Прессование	78
Для всей ОМД	52

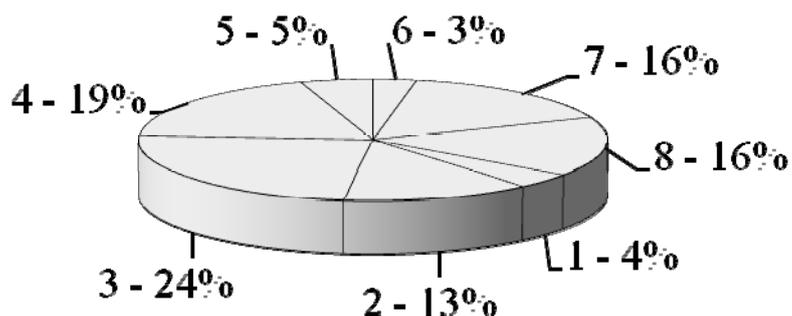


Рис. 2. Отраслевая структура потребления алюминиевых полуфабрикатов (без учета литейной продукции) на внутреннем рынке: 1 – производство бытовых товаров; 2 – строительная промышленность; 3 – производство тары и упаковки; 4 – авиационная промышленность; 5 – автомобильная промышленность; 6 – топливно-энергетический комплекс; 7 – машиностроительный комплекс; 8 – прочее потребление

В настоящее время особо бурное развитие получило производство алюминиевых полуфабрикатов. На [рис. 2](#) показана структура рынка алюминиевых полуфабрикатов в 2001 г. Основными потребляющими отраслями являлись машиностроение, строительная промышленность и производство тары и упаковки. При этом доля потребления алюминия на внутреннем рынке составила 240 тыс. т, а экспорт – 190 тыс. т. В настоящий момент основными потребителями алюминиевых полуфабрикатов являются три региона мира: Северная Америка, Европа и Азия.

Потребление в этих регионах соответственно составило: в США – 25 кг на душу населения, в Европе – 18,3 кг (в т.ч. в Германии – 24 кг, в Италии –

19 кг, в Японии – 17,5 кг. Россия – 2,5 кг). Виды производства, ведущие предприятия и структура поставок полуфабрикатов из алюминия и его сплавов на внутренний рынок в 2001 г. представлены в [табл. 3](#).

Таблица 3

Структура поставок алюминиевых полуфабрикатов в 2001 г., т

Предприятие	Листо-прокатное производство	Кузнечно-штамповочное производство	Литье	Прочее	Всего
Самарский металлургический завод	41163	12490	14587		68240
Бело-Калитвинское металлургическое производственное объединение	15581	4584	2640	488	23252
Красноярский металлургический завод	1352	6393	43047	520	51311
Каменск-Уральский металлургический завод	22858	8254	308	2358	33778
Ступинский металлургический комбинат	12025	10471			22496
Верхне-Салдинское металлургическое производственное объединение		2646	229		2875
ВИЛС	76	366	3208	45	3696
Импорт	22928	10984			33912
Всего	115983	56188	64019	3371	239560

Потребление продукции листопрокатных и кузнечно-штамповочных производств на внутреннем рынке в 2001 г. составило 172 тыс. т, увеличившись на 17 % по сравнению с прошлым годом. Этот рост достигнут в основном за счет продукции строительного сектора, а также тары и упаковки, потребление которой повысилось, соответственно, на 8,3 % и 17,4 %, а импорт вырос почти в два раза. В то же время объемы производства стандартной прессовой продукции по-прежнему остаются на уровне 45 тыс. т, при этом увеличился импорт профилей архитектурно-строительного назначения.

Анализируя тенденции развития производства алюминиевых полуфабрикатов, можно отметить, что сокращается доля внутреннего рынка в общем мировом объеме производства и продаж, что, в частности, обусловлено высокой себестоимостью продукции.

Процессы металлообработки, и в частности ОМД, будут развиваться в направлении создания экономически более выгодных методов обработки, какими в первую очередь являются комбинированные и совмещенные процессы. При этом сокращение металлургических переделов связано с организацией непрерывных технологических схем производства. Это приведет к значи-

тельному снижению трудоемкости и энергоемкости процессов, к снижению отходов и увеличению выхода годного металла.

В качестве исходного материала в обработке металлов давлением применяют стали всех марок, алюминиевые, магниевые, титановые сплавы, а также сплавы на основе меди и никеля в виде слитков, прутков, различных сортовых профилей и т. д. Дляковки, например, используют спокойную сталь, раскисляемую полностью до разливки. Кипящая сталь менее пригодна дляковки, т. к. в слитках из нее трудно обеспечить полную заварку пустот и пузырей в процессе деформации. После прокатки эту сталь используют для штамповки.

Для обеспечения необходимых пластических свойств металлы и сплавы деформируются как в холодном, так и (преимущественно) в горячем состоянии.

Стали, сплавы железа с углеродом (до 2,14 %) используются практически во всех отраслях промышленности, машиностроении, металлургии, строительстве, автомобилестроении и т.п. В зависимости от химического состава сталь бывает углеродистая (Ст3, 08 кп) и легированная (3Х2В8Ф, 5ХНМ); от назначения – конструкционная и инструментальная; от способа получения – мартеновская, бессемеровская, томасовская; от способа раскисления – спокойная, полуспокойная и кипящая. Углеродистые стали подразделяют на низкоуглеродистые (до 0,25 % углерода), среднеуглеродистые (0,25–0,60 %) и высокоуглеродистые (свыше 0,6). Низко- и среднеуглеродистые стали являются конструкционными, а высокоуглеродистые – инструментальными. Они имеют большой запас пластичности и могут деформироваться со степенями деформации до 80 %. Стали высокоуглеродистые и высоколегированные допускают деформацию за один цикл обработки не более 60 %, поэтому их относят к материалам средней пластичности.

Для алюминиевых сплавов характерен малый удельный вес и высокие прочностные свойства. Их подразделяют на мягкие сплавы (АМц, АД31, Амг), сплавы средней твердости (Д1, Д16, АК1) и высокой прочности (АК8, В95). Кроме того, различают термически упрочняемые и термически неупрочняемые сплавы. Алюминиевые сплавы обладают высокой пластичностью, что дает возможность прессованием на горизонтальных гидравлических прессах получать самые разнообразные профили очень сложных конфигураций и различных сечений. Такие свойства алюминиевых сплавов, как низкая плотность, высокая коррозионная стойкость, сравнительно высокие механические свойства, позволяют применять изделия из них в различных деталях машин, автомобилестроении, в строительных конструкциях и архитектурных сооружениях. Основными потребителями сплошных и полых профилей из алюминиевых сплавов является авиационная промышленность, судостроение, холодильная техника, электротехническая промышленность, радиолокация. В последние годы сортамент полых профилей из алюминиевых сплавов значительно увеличился благодаря их использованию в строительстве для изготовления отделочных и конструктивных строительных деталей (детали оконных витражей, перегородок, подвесных потолков, рам, внутренних карнизов, встроенной мебели и др.).

Медь и сплавы на ее основе широко используются во многих отраслях промышленности: электротехнической, строительной, теплоэнергетической. Медь обладает хорошей пластичностью, поэтому из нее изготавливают детали практически всеми способами ОМД. Выделяют две группы сплавов – бронзы и латуни. Латуни (сплавы меди с цинком), обрабатываемые давлением, подразделяются более чем на 8 марок. Для горячей обработки металлов давлением широко применяют латуни марок Л62 и Л68. Бронзы (сплавы меди с оловом, алюминием, марганцем, кремнием, бериллием и другими элементами, кроме цинка) подразделяют на 10 марок. Безоловянистые бронзы характеризуются хорошими антифрикционными и антикоррозионными свойствами, могут работать в соленой воде, масле, паре. Магниевые сплавы (МА2, МА5, ВМ 65-1) относятся к легким сплавам и обладают склонностью к повышенной коррозии, вследствие чего имеют ограниченное применение в машиностроении. В основном, их используют в авиационной промышленности в качестве конструкционных материалов. Область применения – ракетно-самолетостроение, автомобилестроение, электротехническая промышленность.

Титановые сплавы (ВТ1-1) обладают наибольшей удельной прочностью, высокой антикоррозионной стойкостью и жаропрочностью. Находят применение в авиастроении, химическом и транспортном машиностроении, их используют для изготовления поковок для ракет, самолетов (турбинные лопатки), обшивки для подводных лодок, кислотоупорных деталей.

Кроме перечисленных в различных отраслях народного хозяйства широко используются и другие металлы и сплавы. Например, для производства ювелирных изделий применяют такие известные металлы, как золото, платина, палладий, серебро и сплавы на их основе. Для электротехнической промышленности используют сплавы тугоплавких металлов, таких как вольфрам, молибден и др. Кроме того, в качестве декоративных сплавов используются медноникелевые сплавы такие, например, как мельхиор (МН19), нейзильбер (НМЖМц26-2,5-1,5) и др.

В качестве перспектив развития металлообработки методами ОМД выделим следующие:

1. Всесторонняя механизация и автоматизация процессов обработки металлов давлением.
2. Создание новых непрерывных процессов совмещенной обработки черных и цветных металлов и их сплавов.
3. Увеличение мощностей производственного оборудования и их производительности.
4. Реализация малоотходных и безотходных технологий производства изделий методами ОМД.
5. Применение современных программных средств для проектирования и управления технологическими процессами ОМД.
6. Разработка новых материалов, видов оборудования и технологий для обработки труднодеформируемых и малопластичных сплавов.
7. Разработка систем автоматизированного проектирования (САПР) технологии и инструмента для процессов ОМД.

1. ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОКАТКИ, ПРЕССОВАНИЯ И ВОЛОЧЕНИЯ

1.1. Прокатное производство

Лекция 2

(ауд. занятия – 2 ч, самостоят. работа – 2 ч).

Общие сведения и виды прокатки. Продольная и поперечная прокатка. Сортовая и листовая прокатка. Многовалковая прокатка. Продукция, сортамент и технологические характеристики прокатки. Производство листов, лент, фольги, профилей.

Прокатное производство – это комплекс взаимосвязанных технологических переделов, определяющих качество прокатной продукции и технико-экономические показатели прокатного цеха. Развитие прокатного производства базируется на использовании нового, более совершенного нагревательного, прокатного и отделочного оборудования, характеризующегося поточностью ряда технологических процессов и операций, более высокими скоростями и интенсивным режимом работы. Решающим направлением технического прогресса в прокатном производстве является комплексная механизация и автоматизация производственных процессов, расширение сортамента продукции, повышение ее качества и экономии металла.

Выделяют производство проката из черных и цветных металлов, причем производство проката из сталей занимает преобладающее положение. При производстве проката из цветных металлов и сплавов большую долю в объеме занимает листопрокатное производство.

Прокатка металлов является таким видом пластической обработки, когда исходная заготовка обжимается вращающимися валками прокатного стана в целях уменьшения поперечного сечения заготовки и придания ей заданной формы. Существует три основных способа прокатки (рис. 3): продольная (рис. 3, а), поперечная (рис. 3, б) и поперечно-винтовая (или косая) (рис. 3, в).

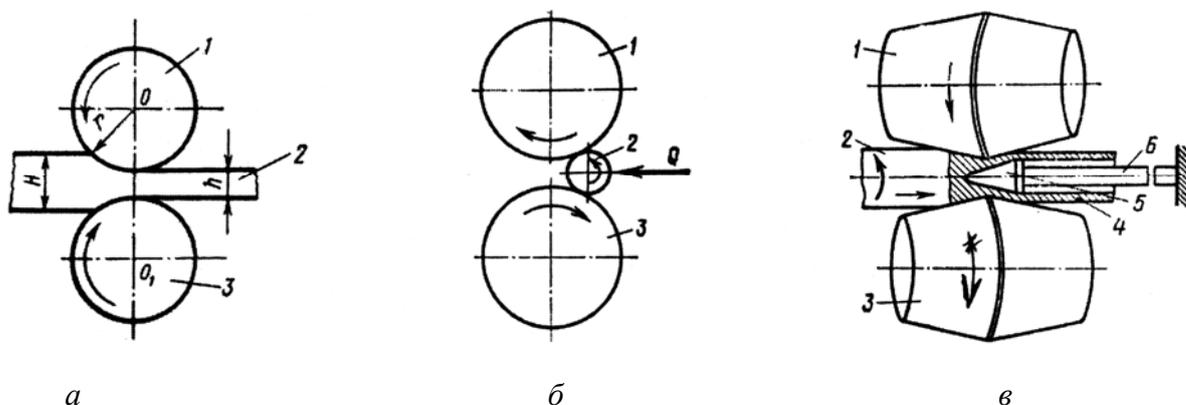


Рис. 3. Схемы прокатки: а – продольная; б – поперечная; в – поперечно-винтовая: 1 – правый валок; 2 – заготовка; 3 – левый валок; 4 – гильза; 5 – оправка; 6 – штанга (стержень)

При продольной прокатке деформирование заготовки 2 осуществляется между вращающимися в разные стороны валками 7 и 3. Из простейшей схемы поперечной прокатки видно, что оси прокатных валков 1 и 3 и обрабатываемой заготовки 2 параллельны (или пересекаются под небольшим углом). Оба валка вращаются в одном направлении, а заготовка круглого сечения – в противоположном.

В процессе поперечной прокатки обрабатываемая заготовка удерживается в валках с помощью специального приспособления. Обжатие заготовки по диаметру и придание ей требуемой формы сечения обеспечиваются соответствующей профилировкой валков и изменением расстояния между ними. Данным способом производят изделия, представляющие собой тела вращения (шары, оси, шестерни и пр.).

Поперечно-винтовая, или косая прокатка, выполняется во вращающихся в одном направлении валках, установленных в прокатной клети под некоторым углом друг к другу ([рис. 3](#)). Станы косой прокатки используют при производстве труб, главным образом, для прошивки слитка или заготовки в гильзу. В момент соприкосновения металла с вращающимися валками, имеющими наклон к оси обрабатываемой заготовки, возникают силы, направленные вдоль оси заготовки, и силы, направленные по касательной к ее поперечному сечению. Совместное действие этих сил обеспечивает вращение, втягивание обрабатываемой заготовки в суживающую щель и деформирование.

Различают листовую и сортовую прокатку. При сортовой прокатке на бочке валков имеются ручьи, образующие при составлении двух и более валков калибр по форме и размерам получаемого полуфабриката. При листовой прокатке применяется гладкая бочка валков.

Наиболее распространенной является прокатка на станах «Дуо» и «Трио», клети которых содержат, соответственно, два и три рабочих валка. Для производства тонколистового проката и фольги используется многовалковая прокатка. В этом случае прокатка осуществляется в клетях с четырьмя (Кварто), шестью, двенадцатью и двадцатью валками. Универсальные клети содержат, как правило, два вертикальных и два горизонтальных валка, образующих закрытый калибр по форме и размерам готового проката.

Продукция прокатного производства. Продукция прокатного производства имеет очень широкое применение во всех отраслях народного хозяйства. Она используется в виде заготовок различного профиля для изготовления деталей машин, станков, тракторов, автомобилей, паровозов, вагонов, железнодорожных путей; для строительства зданий, мостов и других сооружений. Указанные машины и сооружения изготавливаются из прокатных черных и цветных металлов и их сплавов

Сортамент прокатных профилей. Профилем проката называется форма его поперечного сечения, сортаментом – совокупность профилей с различными размерами, получаемых прокаткой на одном стане или на группе станов. Сортамент прокатываемых профилей весьма разнообразен. Его раз-

деляют на пять основных групп: 1) сортовой прокат; 2) листовой прокат; 3) трубы; 4) специальные виды проката (колеса, бандажи, кольца и др.); 5) периодический прокат.

Профиль сортового металла разделяют на две группы: простой геометрической формы (квадратная, круглая и полосовая сталь) и сложной – фасонной формы (двутавровые балки, швеллеры, зетовая сталь, рельсы и др.).

Листовой прокат (сталь) разделяют на толстолистовую сталь (толщиной более 4 мм), тонколистовую (толщиной менее 4 мм) и широкополосную, или универсальную сталь. Листы толщиной от 3 до 8 мм часто называют листами средней толщины. Толстолистовая сталь имеет ширину от 600 до 5000 мм при толщине от 4 до 160 мм и длине от 4 до 12 м. Броневые плиты имеют ширину до 4500 мм и толщину до 550 мм.

Тонколистовая сталь имеет ширину от 500 до 2500 мм, толщину от 0,20 до 3,75 мм и длину от 700 до 4000 мм. Листы (лента) толщиной меньше 0,20 мм носят название фольги. Листы должны быть с обрезанными кромками. Электротехническая и трансформаторная стали имеют ширину 750 и 1000 мм и толщину от 0,35 до 1,0 мм.

Широкополосная, или универсальная сталь, имеет ширину от 200 до 1500 мм при толщине от 4 до 60 мм.

Тонкие стальные ленты изготавливаются шириной от 20 до 2500 мм и длиной до 300 м в зависимости от толщины.

Трубы стальные подразделяются на две группы: бесшовные с диаметром от 25 до 600 мм и сварные – встык, внакладку и холоднопрофилированные – с диаметром от 10 до 1400 мм.

Периодический прокат представляет собой заготовку, поперечное сечение которой не остается одинаковым по форме и площади, а периодически изменяется.

Цветные металлы и их сплавы прокатываются преимущественно на простые профили – квадратный, круглый, полосовой (прямоугольный) в виде листов и лент различных размеров: по толщине от 0,2 до 25–30 мм, по ширине – листы до 3000 мм, ленты до 600 мм (и больше); по длине – листы до 6 м, ленты до 300 м и больше в зависимости от толщины.

В качестве технологических характеристик прокатки используют такие показатели, как производительность и скорость прокатки, степень деформации (обжатия) за один проход и вытяжка. В общем случае основным показателем степени деформации при прокатке является вытяжка $\lambda = \frac{F_0}{F_1}$, которая

определяется как отношение площади поперечного сечения заготовки F_0 к площади поперечного сечения готового изделия F_1 . В частном случае, например при листовой прокатке без уширения, вытяжку определяют как отношение длин заготовки и изделия. Величину $\Delta H = H_0 - H_1$ называют абсолютным обжатием, а величину $\varepsilon_h = \frac{\Delta H}{H_0} \cdot 100\%$ – относительной степенью

обжатия (здесь H_0 и H_1 – соответственно, высота полуфабриката до и после деформации). Производительность прокатного стана, т/ч, можно рассчитать по формуле

$$A = \frac{3600}{t_{\text{ц}}} \cdot G,$$

где G – масса заготовки (слитка), т; $t_{\text{ц}}$ – время (цикл) прокатки, с.

Производство листового проката (листов, лент) осуществляется методами горячей (толстолистовой материал) и холодной прокатки (тонколистовой материал, фольга). Горячую прокатку ведут на двух-, трех- или четырехвалковых станах листовой прокатки. Наиболее современным оборудованием являются непрерывные широкополосные станы. Исходным материалом являются слябы массой от 7,5 до 45 т, нагреваемые в методических печах. Холодную прокатку стали с минимальной толщиной 0,15 мм ведут на четырехшестиклетевых непрерывных станах или на станах «Кварто», оснащенных моталками (для рулонной прокатки). Для производства алюминиевой фольги применяют непрерывнолитую заготовку, которую прокатывают с толщины 6 мм на станах «Кварто» до микронных размеров.

Лекция 3

(ауд. занятия – 2 ч, самостоят. работа – 2 ч).

Оборудование для прокатки, классификация и обозначения прокатных станов. Калибровка валков прокатных станов. Типовые технологические схемы производства проката. Производство труб и специальных профилей.

Для производства листового и сортового проката в прокатных цехах устанавливают станы различного типа и назначения. Условно выделяют несколько групп.

1. Заготовочные станы: блюминги, слябинги, непрерывные заготовочные станы. Блюминги и слябинги – это крупные обжимные станы с диаметром валков 850–1500 мм, в которых прокатку ведут за 11–15 проходов в реверсивном режиме. Как правило, это одноклетевые станы для производства заготовок больших размеров в виде прямоугольной заготовки (сляба) и квадратной заготовки (блюма). Непрерывные заготовочные станы устанавливают непосредственно за блюмингом (слябингом) и имеют обычно две непрерывные группы по шесть клетей в каждой.

2. Станы для производства готового проката: сортовые, листовые, трубные и специальные. К сортовым станам относят крупносортовые, рельсобалочные, средне- и мелкосортные. К листовым станам относят станы для прокатки толстолистовой и тонколистовой (рулонной) прокатки. К трубным станам относят прошивные, раскатные станы и станы холодной прокатки труб (ХПТ), а также станы для получения сварных труб. К специальным ста-

нам относят станы для прокатки периодических, гнутых профилей, шаропрокатные, колесопрокатные и другие станы.

За основной параметр у сортопрокатных станов принимают диаметр рабочих валков. Например, обозначение стан «Кварто 400» означает, что стан имеет 4 валка, из которых 2 опорных и 2 рабочих диаметром 400 мм. У листовых станов за основной параметр принята длина бочки валков, поэтому обозначение «стан 2000» означает, что у данного стана длина бочки валков составляет 2000 мм.

По расположению рабочих клетей выделяют следующие виды прокатных станов: одноклетевые, линейные, многоклетевые, последовательные, полунепрерывные и непрерывные.

Калибровкой валков называют последовательность калибров, расположенных на валках прокатного стана и обеспечивающих получение профиля заданных размеров. В каждом калибре в зависимости от типа стана металл прокатывают за один или несколько проходов, в результате чего заготовка превращается в раскат требуемого сечения. В понятие калибровки включают также определение формы и размеров калибров и размещение их на валках прокатного стана (т. е. процесс проектирования калибровки валков).

Калибры подразделяются на двухвалковые и многовалковые, причем некоторые калибры одинаковой формы могут быть образованы двумя и более валками. В практике прокатного производства нашли применение двухвалковые, трехвалковые и четырехвалковые калибры (рис. 4).

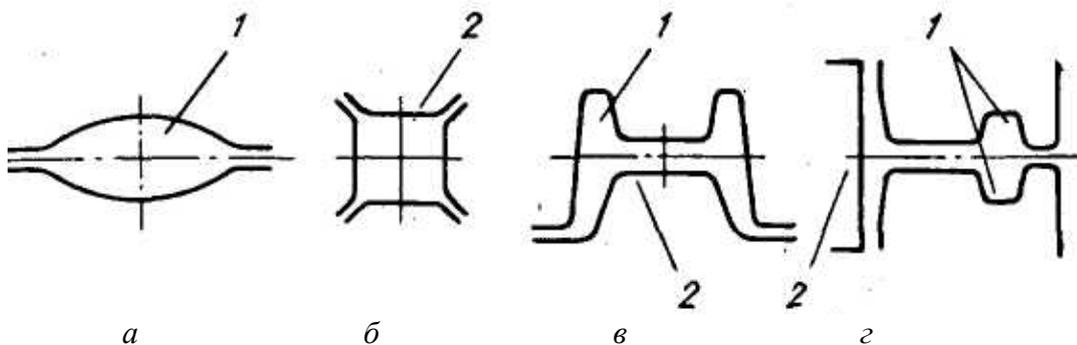


Рис. 4. Калибры, образованные ручьями в виде: а – вырезов 1; б – выступов 2; в – выреза 1 и выступа 2; г – вырезом 1 и выступом 2

Калибры классифицируются по форме, расположению на валках и назначению. По форме калибры подразделяют на две основные группы: простой формы (ящичные или прямоугольные, ромбические, шестиугольные, овальные, круглые, квадратные, шестигранные) и фасонные (балочные, швеллерные, уголковые, рельсовые, тавровые и др.).

По расположению в валках различают калибры открытые, закрытые, полузакрытые и диагональные. У открытых калибров горизонтальный зазор между буртами валков располагается приблизительно посередине высоты калибра, у закрытых – за пределами калибра, у полузакрытых – ближе к основанию или вершине калибра, у диагональных зазоры между буртами распо-

лагаются по диагонали (например, у левого бурта в нижней, а у правого – в верхней части калибра).

По назначению калибры подразделяют на обжимные, черновые, предчистовые и чистовые. Обжимные калибры предназначены для уменьшения площади поперечного сечения исходного слитка, блюма или заготовки с целью получения заготовки, из которой в дальнейшем будет формироваться требуемый профиль. В качестве обжимных обычно используют ящичные калибры. Эти калибры применяют при прокатке на блюмингах и заготовочных станах, а также в первых проходах на сортовых станах. Черновые калибры предназначены для постепенного формирования прокатываемого фасонного профиля (например, двутавровой балки, швеллера и т. д.). На сортовых станах черновые калибры располагаются после обжимных калибров. При прокатке простых сортовых профилей (круг, квадрат, шестигранник) к черновым относят калибры простой формы, в которых производится дальнейшее уменьшение площади поперечного сечения раската, причем эти калибры располагаются в такой последовательности, чтобы обеспечить максимальную вытяжку, т. е. используются как вытяжные. Черновые калибры применяются в черновых и промежуточных группах клетей стана ([рис. 5](#)).

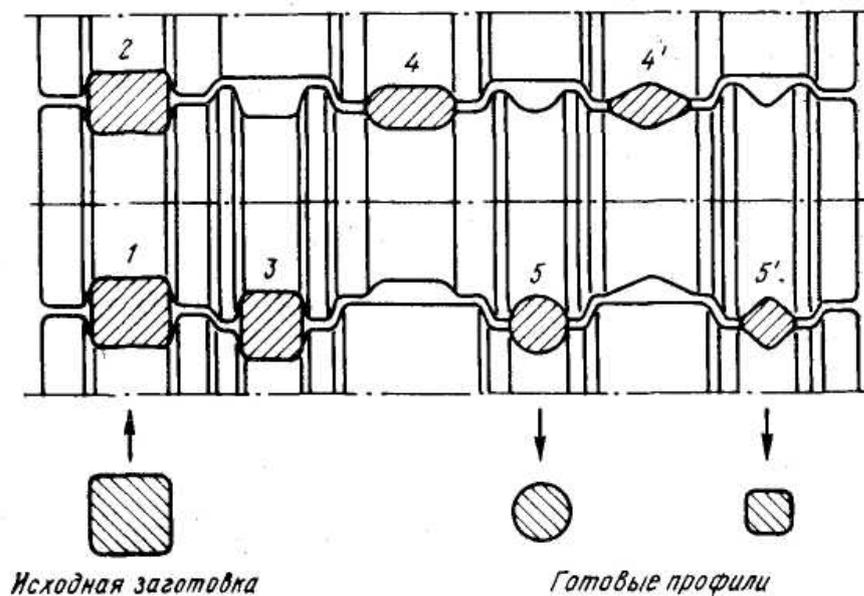


Рис. 5. Калибровка трехвалковой рабочей клетки

Металлургический завод с полным металлургическим циклом, производящий металл в том или другом виде из исходных материалов, включает в свой состав следующие цехи, которые обеспечивают производство и обработку различных видов изделий: доменные (производство чугуна); мартеновские, конвертерные, электросталеплавильные (производство стали и других металлов); цехи горячей прокатки (горячекатаный прокат и трубы); цехи холодной прокатки (производство холоднокатаных листов, лент и труб, отличающихся высокой точностью размеров по толщине, высокой степенью отделки поверхности, а также дополнительными физико-механическими характеристиками); калибровочные цехи (производство калиброванного металла в

прутках и бунтах с высоким качеством поверхности и высокими допусками по размерам); цехи антикоррозионных и других видов покрытий (лужение, оцинкование, алюминирование, хромирование и др.); цехи гнутых профилей (получение тонкостенных гнутых профилей широкого сортамента из листового проката); термические цехи и различные виды отделки металла. Поэтому доменные, сталеплавильные, прокатные и другие цехи при производстве металлов являются основными, ведущими цехами металлургического завода.

Если включить еще получение кокса, что обычно имеет место на металлургическом заводе полного цикла, то такое сочетание цехов является наиболее рациональным с точки зрения использования отходящих газов доменных и коксовых печей, теплоты жидкого чугуна при передаче его из доменного в сталеплавильные цехи и теплоты горячих слитков при передаче их из сталеплавильных в прокатные цехи и на отделку.

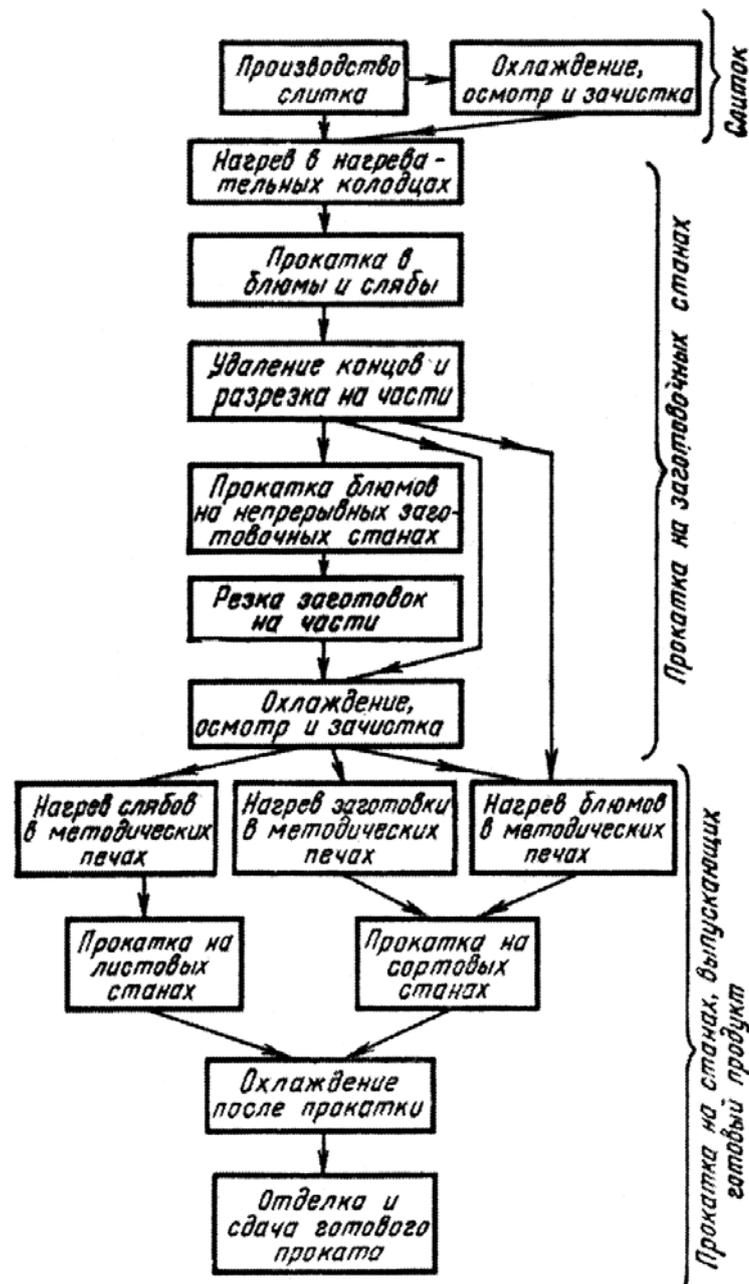


Рис. 6. Технологическая схема производства проката из обычного слитка

Длительное время получение готового проката выполнялось по технологической схеме слитков – готовый прокат (рис. 6). В этих условиях получали слитки небольшой массы и выбирался он с таким расчетом, чтобы из него можно было получить необходимое изделие всего за один нагрев. Однако по мере развития машиностроения и металлургии, главным образом высокопроизводительных способов получения стали, возникла необходимость разливать сталь в слитки значительной массы – 6, –10 т и более. Получение готового проката из такого слитка за один нагрев не всегда представляется возможным. По этой причине начали строить обжимные станы, задача которых состояла в обработке слитка в заготовку. Данное обстоятельство привело к новой технологической схеме: слиток – полупродукт (заготовка) – готовый прокат.

Поэтому прокатные цехи, как правило, имеют в своем составе обжимные (блужинги, слябинги) и заготовочные станы, являющиеся основными агрегатами, связывающими сталеплавильные цехи и прокатные станы, выпускающие готовый прокат; сортовые станы (рельсобалочные, крупно, средне-, мелкосортные и провололочные); листопрокатные станы; трубные станы и др.

Наряду с такой широко распространенной технологической схемой наблюдается переход к схеме литая заготовка – готовый прокат (рис. 7). Этому способствует успешное освоение разливки стали в заготовки квадратного и прямоугольного сечений, что имело распространение лишь в цветной металлургии. Непрерывное литье стальных заготовок длительное время не применялось из-за значительных трудностей выполнения технологического процесса самой разливки. Однако этот процесс обеспечивает получение химически более однородной плотной заготовки, что резко повышает выход годного. Например, на слябах спокойной углеродистой стали выход годного выше на 20 %, чем при разливке в изложницы. Вместе с тем исключается необходимость иметь отделение подготовки изложниц и поддонов.

Применение непрерывной разливки стали снижает себестоимость металлургического передела, так как при этом устраняется необходимость в дорогостоящем оборудовании обжимных цехов, исключаются расходы на содержание обслуживающего и административного персонала. Установлено, что себестоимость проката в этих условиях снижается на 8–10 % при улучшении во многих случаях механических свойств и других характеристик стали. Кроме того, непрерывная разливка существенным образом меняет условия работы в сталеплавильных цехах, позволяет механизировать и автоматизировать все металлургическое производство: получение чугуна, стали, готового проката. Поэтому непрерывная разливка получает значительное развитие во всех странах.

Для производства труб и специальных профилей применяют подобные технологические схемы, отличие заключается в стадии получения заготовки

и особенностей процесса формоизменения. Так, при производстве бесшовных труб горячей прокаткой применяют прошивку заготовки в гильзу и раскатку гильзы в трубу с помощью метода поперечно-винтовой прокатки (см. [рис. 3](#)). Для холодной прокатки бесшовных труб применяют станы ХПТ с периодическим режимом работы клетки, когда клеть с валками перемещается, а заготовка обжимается валками с переменным радиусом.

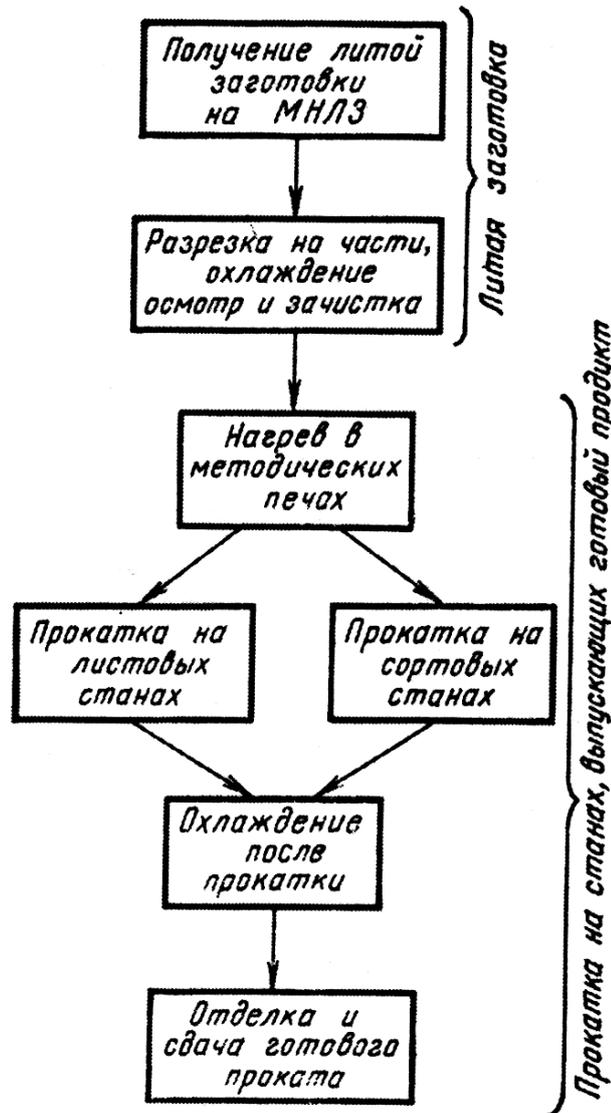


Рис. 7. Технологическая схема производства проката из заготовок, полученных на МНЛЗ

В данных схемах прокатки труб в качестве инструмента применяют конические оправки. При производстве сварных труб используют прокатку ленты (штрипса) в формовочно-сварочном стане, где в клетях с чередующимися горизонтальными и вертикальными валками полоса постепенно сворачивается и сваривается по длине. Специальные виды проката, к которым относят шары, оси, периодические профили и др., получают на станах попереч-

но-винтовой прокатки, имеющих различное число, форму и расположение рабочих валков.

1.2. Прессовое производство

Лекция 4

(ауд. занятия – 2 ч, самостоят. работа – 2 ч).

Общие сведения и виды прессования. Сортамент прессовой продукции. Прессование на горизонтальных гидравлических прессах. Прямое и обратное прессования. Технологические характеристики прессования. Полунепрерывное и непрерывное прессование.

Прессованием называют выдавливание металла из замкнутого объема через отверстие. Широко используют прессование для получения прутков, труб и профилей из алюминиевых и медных сплавов, сталей, титана и других тугоплавких металлов. В качестве разновидностей прессования можно выделить дискретное (прерывное), полунепрерывное и непрерывное прессование.

Сортамент пресс-изделий следующий: прутки диаметром 50–400 мм, трубы диаметром 20–400 мм с толщиной стенки более 1 мм, фасонные профили с площадью поперечного сечения до 500 см², которые невозможно получить другими способами обработки давлением. Из плоского контейнера прессуют ребристые панели шириной до 1 м, из круглого – до 2,5 м. Изделия могут иметь утолщения на концах («законцовки») или плавно изменяющиеся размеры поперечного сечения. Наиболее разнообразны пресс-изделия из алюминия и его сплавов. Промышленный сортамент прессованных профилей из алюминиевых сплавов в настоящее время включает десятки тысяч типоразмеров. Однако, несмотря на столь широкий сортамент, профили по геометрической форме могут быть подразделены на четыре группы: профили сплошного сечения; профили переменного сечения; пустотелые (полые) профили; проволока; панели.

Наибольшее применение в производстве при этом нашли прутки, профили сплошного сечения, проволока и катанка (табл. 4).

Наиболее распространенной является схема прямого дискретного прессования на горизонтальных гидравлических прессах, которая протекает циклически. Данная схема характеризуется тем, что направление течения металла совпадает с направлением перемещения пресс-штемпеля пресса. При обратном прессовании истечение металла происходит в направлении, противоположном движению пресс-штемпеля. Часто при прессовании алюминиевых профилей используется многоканальное прессование.

При реализации процесса прессования (рис. 8) на прутково-профильном прессе с подвижным контейнером заготовку 3 с пресс-шайбой 2 подают на ось контейнера 4 и движением вперед пресс-штемпеля 1 вводят в

контейнер с передней стороны. Выходная сторона контейнера замкнута матрицей 6 с матрицей 5 (рис. 8, а, позиция I). После ввода слитка в контейнер до упора осуществляют его распрессовку, непосредственным продолжением которой является прессование (выдавливание) изделия 7 (рис. 8, а, позиция II). По окончании выдавливания контейнер отводят назад. При этом пресс-остаток 9 с пресс-шайбой 2 остаются висеть у матрицы 5. Движением ножа 8 вниз изделие отделяют от пресс-пакета (т. е. от пресс-остатка с пресс-шайбой), который падает на желоб и передается к механизму разделки пакета (рис. 8, а, позиция III). Изделия тянущим устройством выдергивают из матрицы, и контейнер возвращают в исходное состояние.

Таблица 4

Сортамент профильной продукции

Вид продукции	Размеры, мм	Сплавы
Прутки	Диаметр от 6 до 20	АД1, АД31, АМг6 и др.
Угловые профили	Высота полки от 12 до 100 мм, толщина стенки от 1 до 100 мм	АД1, АД31, АМг6 и др.
Тавровые и двутавровые профили	Высота полки от 15 до 70 мм, толщина стенки от 1 до 100 мм	АД1, АД31, АД35 и др.
Зетовые профили	Высота полки от 20 до 50 мм, толщина стенки от 1 до 50 мм	АД1, АД31, АД35 и др.
Шеллерные профили	Высота полки от 25 до 80 мм, толщина стенки от 1 до 50 мм	АД1, АД31, АД35 и др.
Катанка	Диаметр от 9 до 14	А5, А5Е, А7, А7Е и др.
Проволока	Диаметр от 0,1 до 6,5	А5Е, АД31, АМг6 и др.

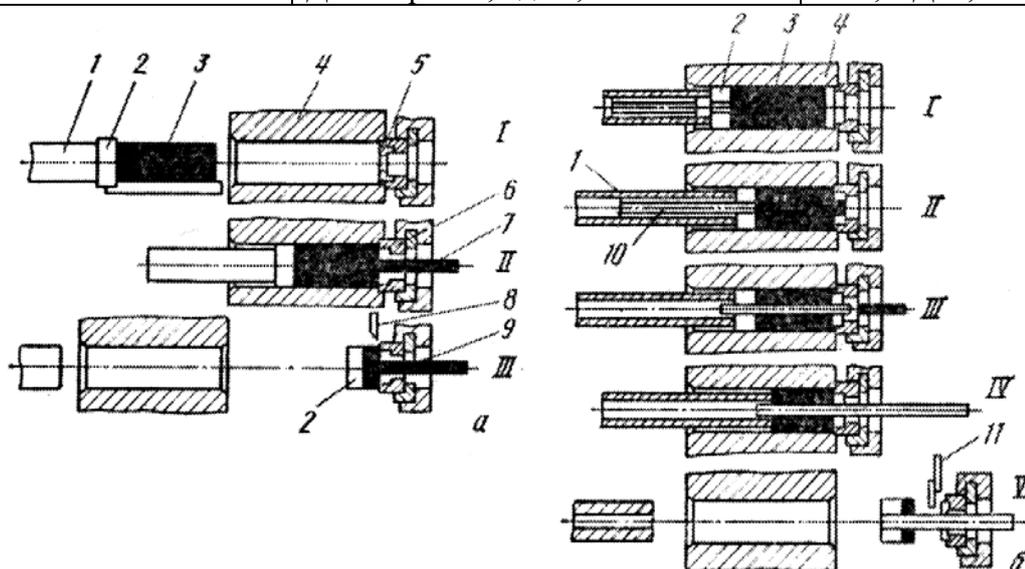


Рис. 8. Последовательность процесса прессования

При прямом прессовании труб после загрузки слитка 3 и пресс-шайбы 2 в контейнер 4 (рис. 8, б, позиция I) осуществляют его распрессовку. При этом иглу 10, находящуюся внутри полого пресс-штемпеля 1, немного выдвигают вперед и запирают отверстие пресс-шайбы 2 (рис. 8, б, позиция II). После распрессовки снимают давление с пресс-штемпеля и прошивают сли-

ток (позиция III). Затем подают рабочее давление к пресс-штемпелю и слиток выдавливают в кольцевой зазор между иглой 10 и матрицей 5 (рис. 8, б, позиция IV). Пресс-пакет отрезается пилой 11 и ножницами (рис. 8, б, позиция V).

В качестве основной характеристики технологического процесса прессования выделяют также, как и при прокатке, вытяжку $\lambda = \frac{F_0}{F_1}$, характеризующую в данном случае отношение площади распрессованной заготовки к площади поперечного сечения прессуемого профиля.

Сравним прессование с процессами прокатки сорта и труб. Преимуществами прессования являются следующие. Пластичность металла при прессовании выше, так как металл в контейнере находится в условиях всестороннего сжатия. Это играет большую роль при производстве изделий из труднодеформируемых сплавов и необходимости получения большой вытяжки (до 50–100, а для алюминия и латуни до 1000). При прокатке за проход вытяжка составляет обычно менее 2. Перестроить пресс на изделие нового профиля гораздо легче, быстрее и дешевле, чем прокатный стан. Точность размеров при прессовании, как правило, выше. Прессование проще автоматизировать, чем сортовую прокатку.

В качестве недостатков можно отметить следующие. Технологические отходы при прессовании состоят из малодеформированного переднего конца профиля и пресс-остатка, достигая 10–15 % (при прокатке 1–3 %). Из-за неравномерного истечения центральных и наружных слоев прессуемой заготовки неравномерность структуры и свойств металла этих слоев выше, чем у проката. Из-за больших контактных напряжений и значительной скорости скольжения по инструменту пресса стойкость прессового инструмента значительно ниже стойкости валков сортовых станков и его приходится изготавливать из дорогостоящих сталей и сплавов. Производительность пресса существенно ниже производительности стана, а себестоимость пресс-изделий выше себестоимости проката.

Полунепрерывное прессование в настоящее время является одной из основных схем по производству пресс-изделий из алюминиевых сплавов, характерной чертой которого является использование специального форкамерного инструмента, обеспечивающего прессование со стыковой сваркой и натяжением. Характерным для такого процесса является снижение высокой степени деформации за счет ее дробления при последовательном выдавливании объема металла сначала из основного контейнера в промежуточный инструментальный блок, а затем из промежуточного блока в матрицу (рис. 9). При реализации процесса прямого прессования на гидравлических прессах в большинстве случаев роль промежуточного инструментального блока выполняет специальный инструмент, называемый форкамерой.

Основным преимуществом такого процесса является предварительное перераспределение потоков металла заготовки таким образом, чтобы уже перед входом металла в канал матрицы неравномерность деформации была

уменьшена. Кроме того, значительно снижаются нагрузки на прессовый инструмент, что приводит к повышению точности размеров прессуемого профиля. В зависимости от размеров и типа профиля конструкция форкамер может быть различной: в виде углублений в теле матрицы со стороны зеркала или отъемной шайбы, в которой изготовлены соответствующие емкости для прессуемого металла. Расширяющаяся форкамера позволяет прессовать профили, габаритный размер которых превышает размеры внутренней втулки контейнера. После окончания прессования через матрицу с форкамерами и отделения пресс-остатка, которое требует несколько большего усилия, так как дополнительно приходится срезать сечение металла, остающегося в форкамерах, последующая заготовка выталкивает оставшийся металл. Кроме указанных преимуществ данного способа следует отметить возможность осуществления схемы полунепрерывного прессования с натяжением, при котором происходит стыковая сварка профилей.

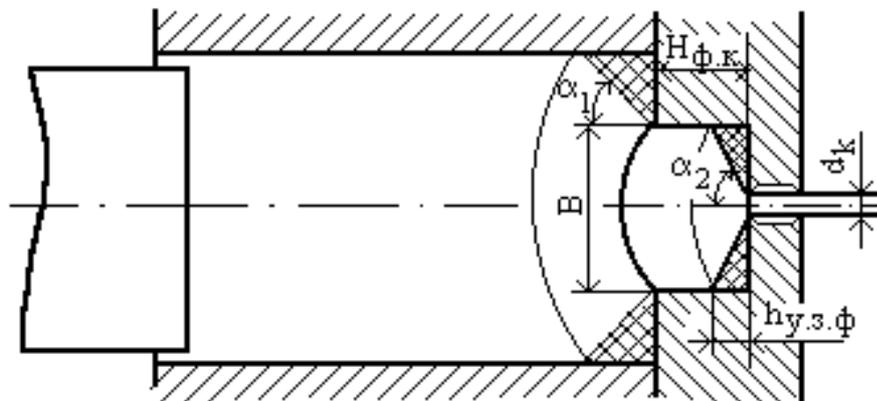


Рис. 9. Схема очага деформации при полунепрерывном прессовании с использованием форкамеры

В настоящее время большинство передовых заводов в нашей стране и за рубежом используют эту технологию при производстве алюминиевых профилей из мягких деформируемых сплавов. Однако вопросы исследования прочности сварного шва, его протяженности и разнотонности при последующем анодировании, требуют научно-обоснованных методик проектирования и современных технологий изготовления прессового инструмента. Поэтому данный технологический процесс не позволяет получать длинномерные изделия, так как сварной шов в большинстве случаев приходится вырезать, что к тому же снижает выход годного при прессовании.

В качестве основного оборудования для реализации таких технологий применяются горизонтальные прессы номинальным усилием от 5 до 50 МН с размерами контейнеров, определяемыми сортаментом, длиной и маркой сплава пресс-изделий, коэффициентом вытяжки, способом прессования и др. Основными параметрами этих прессов являются номинальное усилие, размеры контейнера, ход и скорость движения прессующей траверсы. Тенденцией развития гидропрессового оборудования является применение автоматизиро-

ванных линий, оснащенных тянущими устройствами, новыми системами передачи продукции и ее адьюстажной обработки.

Существующие способы прессования на гидравлических прессах позволяют получать как сплошные, так и полые изделия различного типоразмера, однако после каждого цикла прессования остаются отходы металла в виде пресс-остатка, а последующая закладка заготовки в контейнер сказывается на снижении производительности процесса. Получившие в последнее время развитие технологии и оборудование непрерывного прессования позволяют решать указанные проблемы путем концентрации деформации в необходимой степени в одном узле – узле непрерывного деформирования. При этом, наряду с основным видом обработки – прессованием, в очаге деформации в зависимости от вида непрерывного прессования могут совмещаться такие операции, как прокатка, волочение, осадка, раздача и др.

Основными способами *непрерывного прессования* являются Конформ, Лайнекс и Экстроллинг.

Среди перечисленных способов особое место занимает способ Конформ, предложенный Д. Грином в 1970 г. Он имеет ряд технических и экономических преимуществ и широкую сферу применения, причем особенно перспективным он представляется в цветной металлургии.

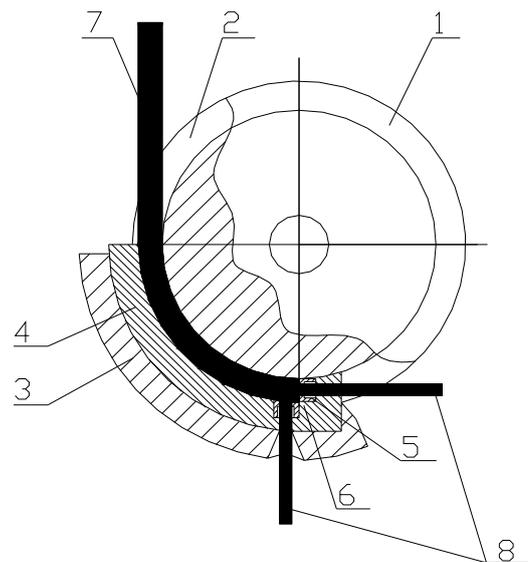


Рис. 10. Принципиальная схема реализации процесса непрерывного прессования по способу Конформ: 1 – рабочее колесо; 2 – кольцевая канавка; 3 – башмак; 4 – кольцевая вставка; 5 – вставка; 6 – матрица; 7 – заготовка; 8 – изделие

Способ Конформ основан на применении неподвижного инструмента, называемого башмаком и подвижного вращающегося инструмента типа колеса с канавкой по периферии, причем в торце башмака установлена матрица, которая перекрывает канавку колеса. Схема процесса приведена на [рис. 10](#).

В качестве заготовки используется пруток 7, который задается в ручей 2, выполненный на рабочем колесе 1 в виде кольцевой канавки. Ручей 2 с внешней стороны закрыт прижимным башмаком 3, на внутренней поверхности которого выполнен ручей 4, охватывающий заготовку 7. В башмаке 3 закреплен блок инструмента с прессовой матрицей 5. При задаче прутковой

заготовки в зазор между башмаком и колесом она продвигается в камеру прессования, образуемую поверхностями башмака и канавки, под действием сил трения по поверхности контакта с вращающимся колесом и, наконец, достигает матрицы.

В зоне непосредственно перед матрицей заготовка подвергается интенсивному пластическому деформированию («раздавливанию») и заполняет все сечение канавки (зона захвата при выдавливании); это способствует увеличению сил трения между поверхностью канавки и заготовкой. По мере поворота колеса силы сжатия, приложенные к заготовке, возрастают и достигают значений, необходимых для выдавливания материала заготовки через отверстие в матрице, т.е. начинается процесс прессования. Зона неполного контакта заготовки с поверхностью канавки (зона первичного захвата) служит для развития давления, необходимого для пластического деформирования материала и заполнения объема в зоне перед матрицей. В качестве заготовки можно использовать обычную проволоку, причем процесс ее деформирования – втягивание в камеру прессования по мере поворота колеса, предварительное профилирование и заполнение канавки в колесе, создание рабочего усилия и, наконец, прессование – идет непрерывно, т.е. реализуется технология непрерывного выдавливания. Данный способ позволяет выдавливать пресс-изделия не только в направлении вращения рабочего колеса, но и в направлениях, перпендикулярных оси рабочего колеса, в том числе и радиальном.

С целью оптимизации кинематики течения деформируемого металла, снижения усилия прессования и упрощения конструкции прессового инструмента для изготовления труб и полых профилей может применяться двухручьевая схема, а для изготовления тонкостенных труб, профилей, проволоки и плакированных изделий особенно действенна двухколесная схема реализации процесса Конформ. Прессовый инструмент отличается тем, что прессовая матрица и игла устанавливаются раздельно, снижается величина потребных давлений и температуры прессования, что способствует росту производительности процесса.

На основе вышеприведенных технических решений специалистами Springfilds laboratory и Advanced Metal Forming Group при Управлении атомной энергии «УКАЕА» Великобритании была разработана линия непрерывного прессования, схема которой представлена на [рис. 11](#).

Преимуществами линии являются следующие: высокое качество пресс-изделий, сравнительно низкая себестоимость производства; низкие удельные капитальные затраты; незначительное количество технологических отходов (3–7 % вместо 25–45 % традиционных); большая технологическая гибкость. В настоящее время установки по методу Конформ, предназначенные для производства прессованной продукции, производятся английскими фирмами «Holton Machinery» и «Babcock Wire Equipment».

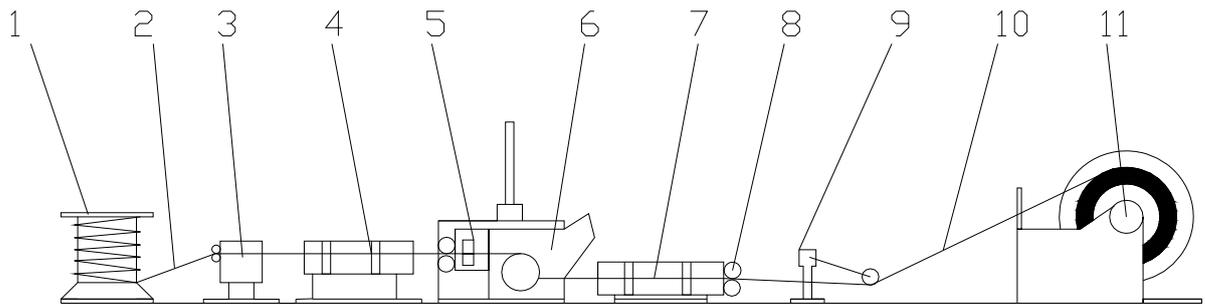


Рис. 11 Схема компоновки оборудования линии непрерывного прессования по способу Конформ: 1 – размоточное устройство; 2 – заготовка; 3 – устройство правки заготовки; 4 – устройство очистки заготовки; 5 – гильотинные ножницы; 6 – машина «Conform»; 7 – устройство охлаждения и сушки пресс-изделия; 8 – устройство натяжения пресс-изделия; 9 – устройство контроля натяжения пресс-изделия при его смотке; 10 – пресс-изделие; 11 – намоточное устройство

Мощность привода установки фирмы «Holton Machinery» с диаметром колеса 400 мм составляет 150 кВт, а габаритные размеры – 27250х6800х4380 мм. На этих установках изготавливают секторные провода для кабеля с поперечным сечением 16-300 мм², электрошины различной формы и размеров, трубы всех типов охлаждающих систем диаметром от 4 до 8 мм с толщиной стенки до 0,6 мм и др. Однако отсутствие исследований формоизменения металла, учета граничных сил трения, изучение закономерностей деформации различных металлов и сплавов выявили ряд недостатков, которые существенно ограничивают возможности этого метода прессования.

Следует отметить, что для деформации даже мягких алюминиевых сплавов требуются большие энергозатраты, так как трение по инструментальному узлу достаточно велико. Кроме того, это приводит еще и к сильному разогреву деформирующего инструмента и, как следствие, к снижению его стойкости. Свойства пресс-изделий характеризуются неоднородностью из-за неравномерной деформации за счет создания реактивных сил трения на контакте металл – прессовый узел (башмак), что не вполне приемлемо, например, для продукции электротехнического назначения.

Особенностью способа Лайнекс (рис. 12), предложенного специалистами фирмы Western Electric Co (США), является то, что, давление, необходимое для реализации процесса, создается за счет использования активных сил трения, которые возникают между плоскими поверхностями звеньев бесконечных цепей и верхней, и нижней плоскостями заготовки, имеющей прямоугольное поперечное сечение.

При этом величина давления прессования оказывается зависимой от соотношения (разности) сил трения на несмазанных и смазанных плоскостях заготовки. Этот способ применяют для производства алюминиевых шин и проволоки на заводах фирмы Venscuck (США). Максимальная величина коэффициента вытяжки не превышает 20, т.е. на порядок меньше, чем при производстве аналогичного пресс-изделия способом Конформ.

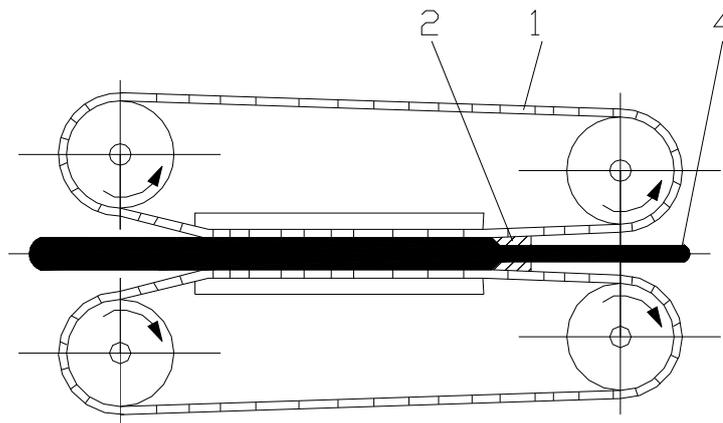


Рис. 12. Схема процесса непрерывного прессования способом Лайнекс:
1 – приводные цепи; 2 – матрица; 3 – заготовка; 4 – изделие

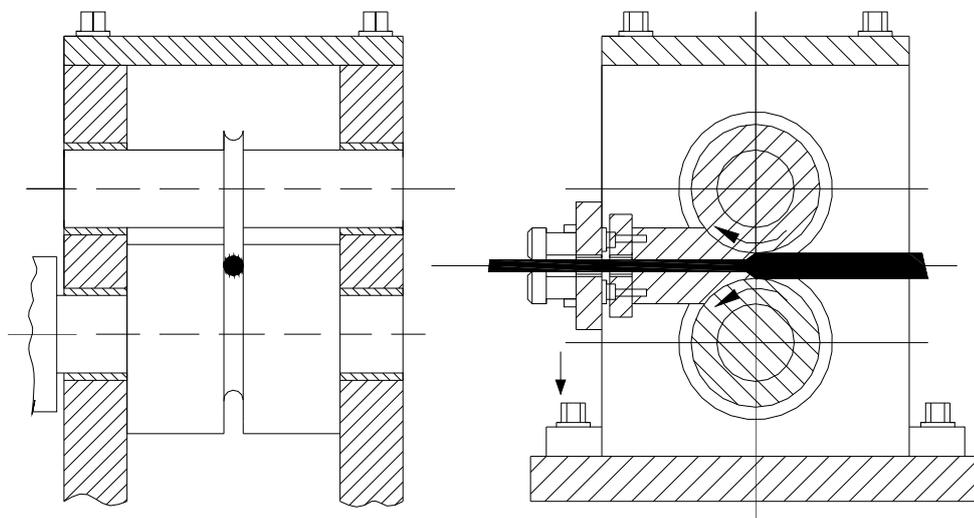


Рис.13. Схема устройства для процесса Экстроллинг

Процесс Экстроллинг был предложен в 1975 г., запатентован Б. Авитцуром в 1976 г. и представляет собой способ совмещения процессов прокатки и прессования в одном очаге деформации. Он характеризуется тем, что за счет активных сил контактного трения между валками и заготовкой выдавливание осуществляют через прессовую матрицу. Схема процесса показана на [рис. 13](#).

Для осуществления процесса исходная заготовка непрерывно задается в калибр, обжимается в нем, что полностью соответствует стадии прокатки и выдавливается в калибрующее отверстие матрицы, установленной на выходе из калибра.

Данный способ реализуется как в холодном состоянии, так и при повышенных температурах и имеет меньшие потери мощности на трение реактивного действия, а также более эффективное заполнение полости калибра металлом заготовки. Рассматриваемый процесс сочетает в себе низкие потери на трение и малую продолжительность обработки, характерные для прокатки, и большие степени деформации, возможные при прессовании. Недостат-

ки прокатки (небольшое единичное обжатие) и прессования (ограниченная длина получаемого изделия) при такой реализации процесса могут быть устранены.

Однако способ не нашел должного применения в промышленности, так как предложенное техническое решение (использование открытого калибра, расположение матрицы на общей вертикальной оси валков и т. д.) не обеспечивало устойчивого протекания процесса и создания необходимых для экструдирования металла давлений.

Таким образом, из всех процессов непрерывного прессования цветных металлов и сплавов, которые начали активно внедряться в производство с 1974 г., наиболее применимым и доведенным до промышленного внедрения оказался способ Конформ, установки на базе которого изготавливаются и распространяются по всему миру фирмами Babcock Wire Equipment и Holton Machinery LTD. В нашей стране, несмотря на имеющиеся многочисленные технические решения, защищенные авторскими свидетельствами и патентами, попытки создания таких отечественных установок не удались вследствие отсутствия автоматизированной системы отвода тепла от рабочего инструмента. Действительно, ряд особенностей этого метода, основной причиной которых является наличие контактных сил трения реактивного действия, приводит к сильному разогреву инструмента, контролировать и управлять которым в процессе деформации достаточно сложно.

Лекция 5

(ауд. занятия – 2 ч, самостоят. работа – 2 ч).

Производство профилей, прутков, панелей и труб. Типовая технологическая схема прессования профилей. Оборудование и инструмент для прессования. Элементы проектирования матриц и форкамер для прессования алюминиевых профилей.

При производстве профилей, прутков и труб используется типовая технологическая схема. Такая схема применительно к процессу прессования алюминиевых профилей на горизонтальных гидравлических прессах показана на [рис. 14](#).

Характеризуя типовой технологический процесс, отметим, что заготовки используют чаще литые, реже деформированные. Для расчета размеров слитка используют рекомендации И.Л. Перлина, в соответствии с которыми общая вытяжка при прессовании должна быть не менее 10. Отношение длины слитка $L_{сл}$ к диаметру для полых профилей должно составлять 1,5–2, а для сплошных – 2–3. Массу слитка подбирают по усилию пресса. Перед прессованием производят обработку слитка.



Рис. 14. Типовая технологическая схема прессования

Наиболее эффективный способ удаления поверхностных дефектов слитка – это горячее скальпирование, т. е. проталкивание слитков через матрицу с острой кромкой (на отдельном прессе усилием 2-3 МН, расположенном на выходной стороне нагревательной печи). При этом снимается слой толщиной 2-3 мм. Слитки подвергают гомогенизации (нагреву и выдержке

при заданной температуре) с целью устранения дендритной ликвации и повышения пластичности литой заготовки.

Оптимальная температура нагрева слитка зависит от пластичности и прочности металла, степени неравномерности деформации, окисления поверхности, схватывания (сваривания) металла с инструментом, скорости остывания металла в контейнере и т.д. Температурный интервал прессования шире у однофазных сплавов и чистых металлов. Перед прессованием латуни, магниевых, алюминиевых сплавов и других применяют подогрев контейнера, матрицы и пресс-шайбы до 200–250 °С, а иглы – до 350 °С.

При прессовании прутков алюминиевых сплавов контейнер подогревают до 330–430 °С. Технологическая смазка поверхности контейнера и пресс-шайбы уменьшает усилие прессования, остывание заготовки, неравно-

мерность деформации, удлиняет срок службы инструмента. Обычно в качестве смазки применяют смесь графита с машинным маслом.

После прессования профили проходят термическую обработку, их режут на мерные длины, правят на правильно-растяжных машинах, устраняют поверхностные дефекты вырубкой, шабровкой, травлением и другими методами. Термическую обработку (закалку, старение) проводят, как правило, в электрических печах. Для защиты от коррозии изделия покрывают лаком, краской, оксидируют, анодируют, смазывают и т. п.

Основным видом оборудования для прессования профилей, прутков и труб является горизонтальные гидравлические прессы усилием от 8 до 35 МН. В настоящее время на ряде заводов имеются прессы и большего усилия 50 и 70 МН. На базе гидравлических прессов последнее время на многих заводах созданы установки полунепрерывного прессования, включающие устройства натяжения и охлаждения пресс-изделий.

Инструмент, применяемый для прессования на горизонтальных гидравлических прессах, включает контейнер, пресс-штемпель, матрицы, пресс-шайбы, иглы и др.

Контейнер прессы (рис. 15) состоит из корпуса, внутренней и промежуточной втулок. Корпус имеет каналы для размещения нагревателей, а на быстроходных (50–70 прессовок/ч) прессах также каналы для охлаждения. Внутренняя втулка изготавливается из теплостойкой стали, часто с упрочняющей наплавкой.

Пресс-штемпель изготавливают из поковок легированной стали с пределом прочности, равным 1600–1700 МПа.

Пресс-шайба служит для предохранения пресс-штемпеля от разогретого слитка.

Матрицы – это наиболее ответственные и быстроизнашиваемые детали инструмента (рис. 16). Матрица служит для формирования контура пресс-изделия и определяет точность его геометрических размеров и качество пресс-изделий. Матрица устанавливается в передней части втулки контейнера и замыкает ее полость с заготовкой. Изготавливают матрицы из высоколегированных сталей и жаропрочных сплавов.

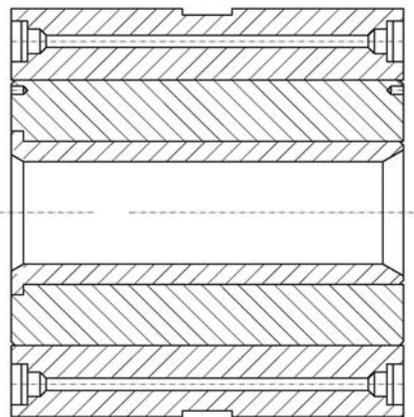


Рис. 15. Вид контейнера

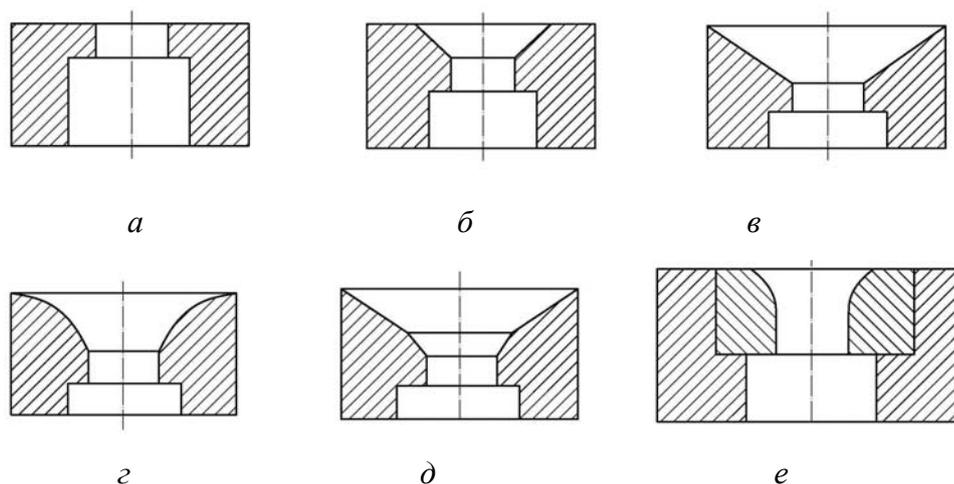


Рис. 16. Виды матриц: *a* – плоские; *б* – плоско-конические; *в* – конические; *г* – радиальные; *д* – с двойным конусом; *е* – со вставкой из жаропрочных или твердых сплавов

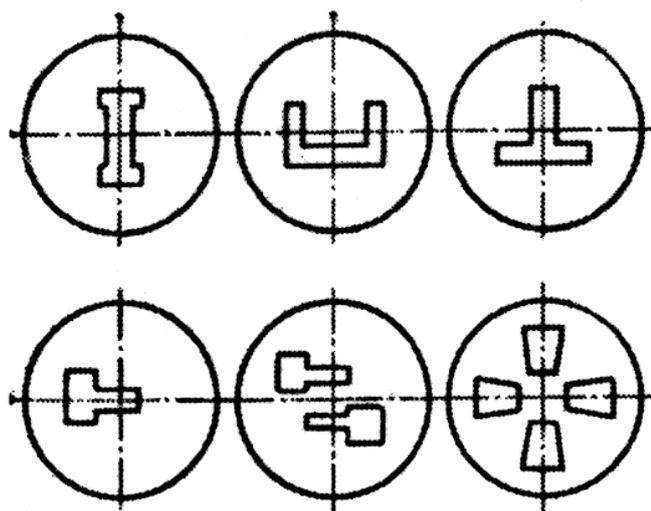


Рис. 17. Типы прессуемых профилей

Из мягких материалов на основе алюминия прессуют фасонные профили ([рис. 17](#)).

Для равномерного истечения «тонких» и «толстых» элементов профиля рекомендуется «тонкие» элементы размещать ближе к центру, увеличивать ширину пояска матрицы и применять тормозящий конус А ([рис. 18](#)) на «толстых» элементах профиля. Язычковую матрицу используют при прессовании полых профилей.

А

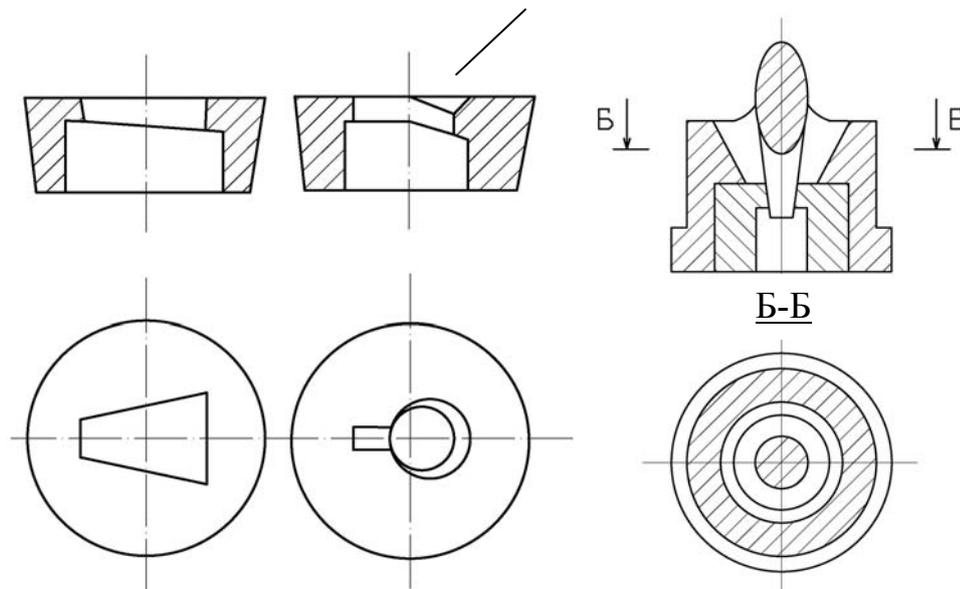


Рис. 18. Виды прессового инструмента

Одной из важнейших задач при разработке технологического процесса прессования является правильное изготовление прессового инструмента, в основе которого лежит проектирование прессового инструмента: матриц, форкамер, подкладок и спецподкладок и т. д.

Проектирование матрицы состоит из следующих основных этапов:

- подготовки чертежа нормали профиля;
- определения геометрических размеров канала матрицы с учетом припуска на температурную усадку;
- выбора способа прессования и оборудования;
- размещения канала или каналов на зеркале матрицы;
- расчета рабочего пояска;
- подготовки чертежа матрицы.

Для процесса проектирования матриц характерно высокое влияние субъективного фактора, который проявляется при размещении каналов на зеркале матрицы, поскольку не существует четкой методики их проектирования. Поэтому был выработан ряд рекомендаций по размещению каналов на зеркале матрицы. В большинстве случаев центр тяжести сечения канала располагают в центре зеркала матрицы. Этот же принцип использует и при проектировании многоканальных матриц, когда несколько каналов профилей образуют симметричную фигуру, центр тяжести которой расположен в центре зеркала матрицы. При проектировании матриц для прессования несимметричных профилей необходимо ориентировать разнотолщинные элементы тонкими полками к центру матрицы.

При выборе расположения профиля на зеркале матрицы ([рис 19](#)) каналы следует располагать на одной линии, что исключает соприкосновение профилей во время движения по выходному столу и обеспечивает возможность их захвата зажимным устройством движущейся каретки захватного органа (пуллера).

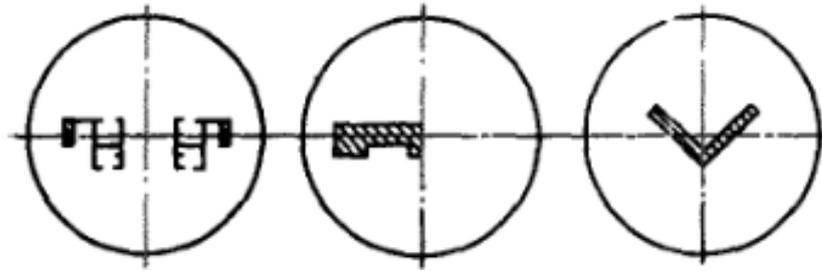


Рис. 19. Рациональное расположение каналов, обеспечивающее качественную поверхность

Выполнение разновысоких рабочих поясков матриц необходимо для выравнивания скоростей истечения различных элементов профиля.

Для процесса полунепрерывного прессования также проектируются форкамеры, исходными данными для чего служат чертеж матрицы и технологические характеристики процесса прессования (например, величина вытяжки из форкамеры в матрицу). Проектирование форкамеры заключается в определении геометрических размеров эвклидистантной фигуры, описанной вокруг профиля и глубины форкамеры, на основании чего строится ее чертеж.

1.3. Волоочильное производство

Лекция 6

(ауд. занятия – 2 ч, самостоят. работа – 2 ч).

Общие сведения и виды волочения. Сортамент продукции. Волочение труб, прутков, проволоки. Оборудование и инструмент. Типовая технологическая схема волочения проволоки.

Волочением называют пластическую деформацию при протягивании проволоки, прутка, профиля, трубы через сужающийся канал инструмента (волоки). Усилие растяжения, приложенное к выходящему из волоки концу изделия, расходуется на формоизменение заготовки и преодоление сил трения о канал волоки. Обжатие за проход ограничено прочностью выходящего конца изделия и, как следствие, обрывом металла. Характеристикой процесса служит вытяжка λ .

Волочение относится к холодной пластической обработке. Кроме формоизменения и вытяжки достигается упрочнение (наклеп) материала, улучшается качество поверхности и точность размеров.

Различают волочение на цепных станах (для получения труб, прутков и профилей ограниченной длины) и волочение на станах барабанного типа (для получения длиномерной продукции, например, проволоки).

Заготовки для волочения – это сплошные (катаные, прессованные) круглые и фасонные профили в бухтах или отрезках, бесшовные или сварные

трубы. Готовые изделия волоочильных цехов – это проволока диаметром от 0,01 до 6 мм, трубы диаметром до 400 мм, калиброванные прутки и профили, профильные (овальные, прямоугольные и т. п.) трубы.

Производительность процесса волочения определяется скоростью на выходе из волоки (скоростью волочения), вытяжкой за проход, затратами времени на начало процесса и замену инструмента.

Скорость волочения составляет 1–10 м/с для прутков, профилей и труб и до 50 м/с для тонкой проволоки. При таких скоростях скольжения неизбежны проблемы износостойкости волок, обеспечения качества поверхности изделий. Первостепенная роль при волочении принадлежит технологической смазке и управлению процессом трения. Радикальным средством уменьшения износа, повышения скорости и производительности является волочение в режиме гидро- или пластогидродинамического трения.

Перед волочением заготовку термически обрабатывают, удаляют с нее окалину и подготавливают ее поверхность для закрепления смазки. Термическая обработка снимает наклеп и обеспечивает получение оптимальной структуры. Смягчающий отжиг повторяют после 70–85 %-го обжата для стали и 99 %-го для цветных металлов (меди, латуни). Окалину после термической обработки удаляют механическим, химическим, электрохимическим способами, а также одновременно несколькими способами. Механическая очистка состоит в периодическом изгибании полосы между роликами, обдуве дробью или песком. Такой способ малоэффективен для удаления прочной окалины, поэтому чаще применяют химический способ.

После травления заготовку промывают, на ее поверхность наносят подсмазочный слой путем желтения, омеднения, фосфатирования, известкования. При желтении на заготовку наносят тонкий слой гидроксида железа $Fe(OH)_3$, который вместе с нанесенной затем на него известью играет роль наполнителя для смазки. Фосфатирование состоит в нанесении пленки фосфатов марганца, железа и цинка. К пленке фосфатов хорошо прилипает смазка и коэффициент трения снижается до 0,04–0,06. Известкование в растворе нейтрализует остатки кислот и образует пленку наполнителя для смазки. Для волочения с большими обжатами и давлениями рекомендуется омеднение заготовки в растворе купороса; коэффициент трения при этом равен 0,08–0,12. После нанесения покрытия заготовку сушат в камере при 300–350 °С.

Для увеличения производительности концы бухт сваривают электроконтактной сваркой. Это снижает потери времени на заправку заготовки в волоки до минимума.

Проволоку изготавливают на машинах многократного волочения с числом волок 5–22. За каждой волокой скорость проволоки увеличивается пропорционально вытяжке λ , достигая на выходе 40–50 м/с (на наиболее современных машинах). Автоматизированный электропривод позволил объединить в один непрерывный агрегат волоочильную проволочную машину и установку для отжига проволоки «на проход». При производстве труб и прутков также стремятся объединить в один агрегат волоочильную машину, механизмы для правки, резки, острения концов, установки оправок и т. д.

К волоочильному инструменту относятся волокни и оправки. Канал волокни (рис. 20) имеет следующие зоны: входную для облегчения ввода заготовки, смазочную и рабочую для ввода смазки и обжатия заготовки, калибрующую пояс, обратный конус и выходную зону для предохранения изделия от образования рисок и царапин. Основные характеристики волокни – это материал, угол α и ширина калибрующего пояса. Длина пояса составляет 0,4–1,0 длины рабочей зоны. Угол α обычно равен 6–15°.

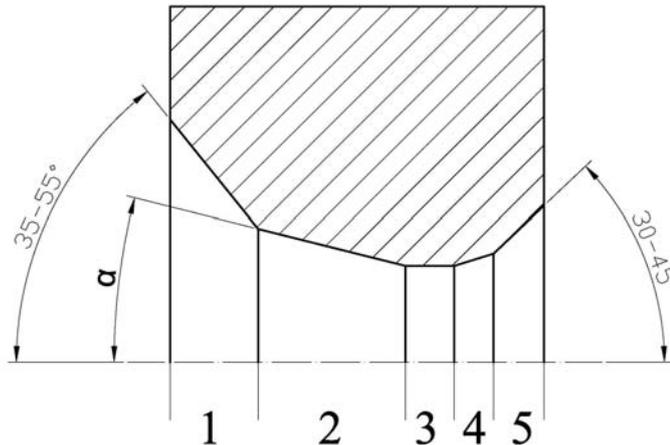


Рис. 20. Схема канала волокни: 1 – входная зона; 2 – смазочная зона; 3 – калибрующая зона; 4 – обратный конус; 5 – выходная зона

По диаметру изделий, мм, волочение подразделяется на толстое (3,5–1,5), среднее (1,6–0,25), тонкое (0,4–0,1) и тончайшее (0,02–0,008). Наибольшей износостойкостью обладают волокни из природных (до 2,4 мм) и синтетических (поликристаллических до 4,6 мм) алмазов, однако они нуждаются в интенсивном охлаждении. Размеры и форма канала стандартизованы. Алмазные волокни вставляют в оправы из латуни или бронзы и заливают легкоплавким сплавом. Для изделий диаметром 1–50 мм применяют в основном сборные волокни из обоймы с запрессованной в нее твердосплавной вставкой. Размеры и материалы вставок на основе карбидов вольфрама и кобальта стандартизованы.

Для мелкосерийного производства и производства труб диаметром до 300 мм применяют волокни из сталей У8-У 12, Х12М, ШХ15 и др.

В цепном волоочильном стане (рис. 21) передний конец прутка или трубы 1 проталкивается через волокни 2 и захватывается клещами каретки 3. Каретка сцепляется с пластинчатой цепью 4, перематываемой с помощью привода 5. На входной стороне стана имеется приспособление для подачи и удержания стержня оправки.

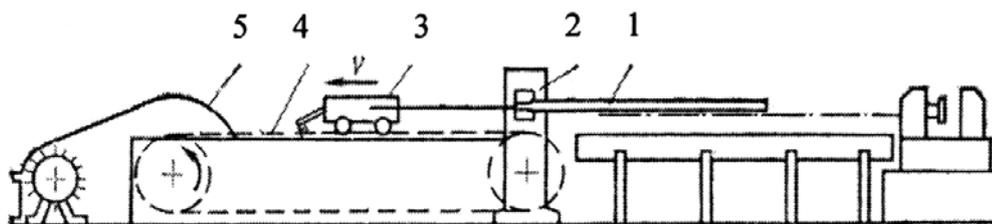


Рис. 21. Схема цепного волоочильного стана

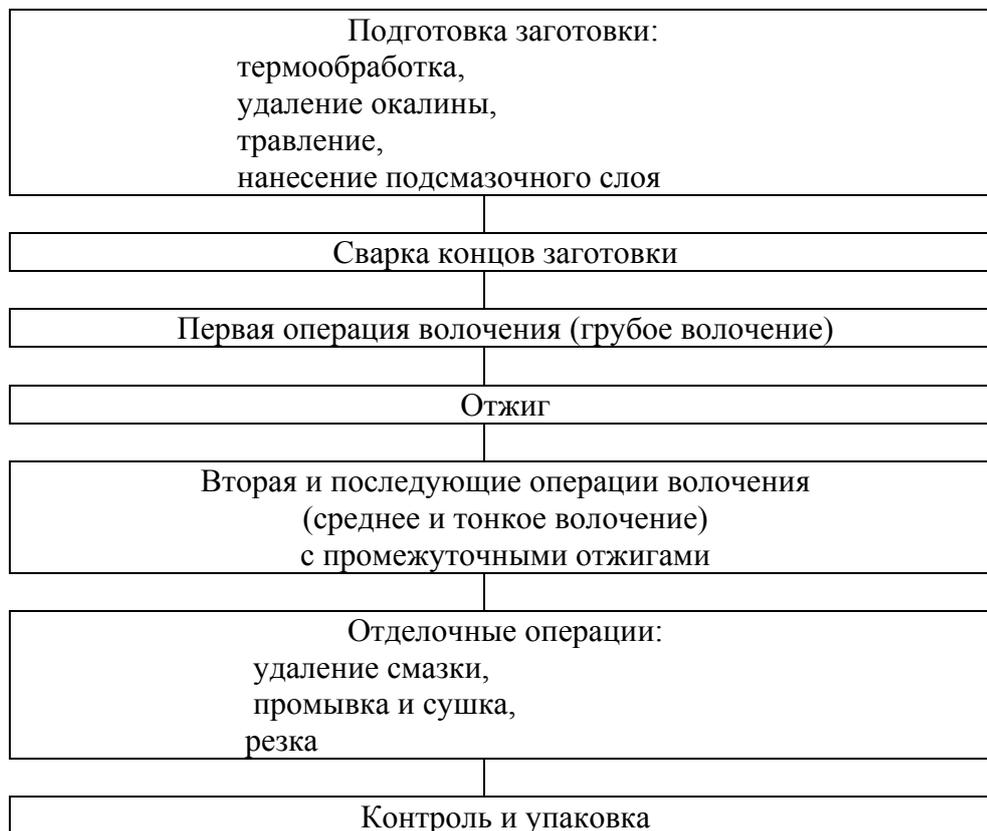


Рис. 22. Типовая технологическая схема волочения

Скорости волочения на современных станах достигают 3–5 м/с, усилие волочения составляет 30–1500 кН, причем одновременно протягивается до трех заготовок. Недостатки цепных станов таковы: ограниченная длина изделий, большие затраты времени на подготовку к волочению очередной заготовки. Разработаны автоматизированные линии волочения прутков, в которых специальные захваты попеременно тянут заготовку через волоку без остановки процесса.

Технологическая схема применительно к получению проволоки показана на [рис. 22](#).

Контрольные вопросы

1. В чем состоит принципиальное различие продольной и поперечной прокатки?
2. Для каких целей применяется сортовая прокатка?
3. Какие валки применяются для листовой прокатки?
4. С какой целью применяется многовалковая прокатка?
5. Что означает понятие «стан Кварто 400»?
6. Какой показатель характеризует степень деформации при прокатке?
7. Что такое калибровка прокатных валков?
8. Какие виды оборудования применяют для получения заготовок для сортовой и листовой прокатки?
9. В чем заключается различие технологии прокатки сварных и бесшовных труб?
10. Какая из технологических схем прокатки наиболее выгодна экономически?
11. Какой вид прессования является в настоящее время самым распространенным?
12. Какой основной сортамент прессовой продукции?
13. В чем отличие прямого метода прессования от обратного?
14. Как рассчитываются коэффициент вытяжки при прессовании?
15. В чем заключаются особенности полунепрерывного прессования?
16. В чем заключаются преимущества непрерывного прессования?
17. Какова последовательность технологического процесса при прессовании профилей?
18. Какой инструмент применяется при прессовании труб?
19. Для чего служит контейнер пресса?
20. Какова последовательность этапов проектирования прессовых матриц?
21. Каковы недостатки процесса волочения?
22. Какие существуют виды волочения?
23. На каком волочильном оборудовании получают проволоку?
24. Из каких материалов изготавливают волокнистые материалы?
25. С какой целью при волочении применяют смазку?
26. Зачем применяют острение конца заготовки перед деформацией металла при волочении?
27. Какие подготовительные операции проводят для реализации процесса волочения?
28. В чем заключаются особенности технологии волочения на цепном стане?
29. Какой специализированный инструмент применяют при волочении труб?
30. Какие виды дефектов возможны при несоблюдении технологии волочения?

2. ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ КОВКИ И ШТАМПОВКИ

2.1. Ковка

Лекция 7

(ауд. занятия – 2 ч, самостоят. работа – 2 ч).

Общие сведения о ковке металлов. Характеристикаковки с позиций ресурсосбережения. Температурные интервалыковки. Оборудование и инструмент дляковки. Основные и вспомогательные операцииковки. Получение, обработка и дефекты кузнечных слитков. Резка металла в кузнечно-штамповочных цехах. Этапы разработки технологического процесса производства поковок.

Ковка – это процесс обработки металлов давлением, при котором необходимое изменение форм и размеров заготовок достигается путем ударов или нажимов бойками, не ограничивающих течение металла в плоскости перпендикулярной оси приложения давления. К достоинствамковки относится возможность обрабатывать давлением крупные слитки, масса которых достигает нескольких сотен тонн, улучшая структуру и механические свойства обрабатываемого металла и исправляя дефекты литого металла.

В качестве исходного материала дляковки применяют стали всех марок, алюминиевые, магниевые, титановые сплавы, а также сплавы на основе меди и никеля.

Ковка слитков протяжкой из цветных сплавов в одном направлении при достаточных степенях обжима приводит к измельчению зерна с образованием волокнистой структуры. При этом повышаются показатели механических свойств, однако одновременно возникает их анизотропия в продольном и поперечном направлениях, которую устраняют ковкой в трех взаимно перпендикулярных направлениях по схеме осадка – протяжка – осадка.

Дляковки поковок небольшой массы используется различный прокат, такой как блюмы, катанка круглого и квадратного сечения (сортовой прокат), периодические и сортовые профили. Кроме того, кузница перерабатывает прутки, полученные волочением и прессованием.

К достоинствуковки относят возможность с помощью простого и дешевого инструмента изготавливать поковки разнообразной формы и размеров любой массы (от гаек и болтов до коленчатых валов современных кораблей). Главным преимуществом процессаковки является возможность обрабатывать крупные слитки и заготовки. В тяжелом машиностроении количество кованных поковок достигает 90 %, а в автомобилестроении (серийное и массовое производство) до 98 % их изготавливаются объемной штамповкой. Поэтому потребность, а также вид и объем продукции обуславливает применение

ковки. Ковку используют в единичном и мелкосерийном производстве. К ее недостаткам можно отнести значительный расход металла (коэффициент использования металла составляет 37 %) и низкую производительность по сравнению с объемной штамповкой.

Нагрев заготовок перед ковкой сопровождается изменением структуры и механических свойств исходного материала. С превышением температуры металла свыше величины, составляющей диапазон 0,3–0,4 от температуры плавления, начинают протекать процессы возврата и рекристаллизации. Ковочные температуры находятся между температурами плавления и интенсивной рекристаллизацией сплава. Более низкие температуры относятся к холодному деформированию. При нагреве заготовок в случае несоблюдения технологических требований могут иметь место явления перегрева и пережога. Первое ведет к росту зерен и резкому снижению механических свойств, а второе сопровождается окислением поверхности зерен и полной потерей пластических свойств. Поэтому выбор температур нагрева заготовок является важной технологической задачей.

Температурный интервалковки – это максимальная температура нагрева металла в печи (верхний предел) и температура окончания процесса деформации поковок (нижний предел). Различают допустимый и рациональный температурные интервалыковки. Допустимый является более широким и не зависит от размеров и формы поковок, а рациональный назначается с учетом опыта освоения технологического процесса для конкретных заводских условий. Допустимые интервалы для некоторых сплавов приведены в [табл. 5](#).

В качестве основного оборудования дляковки применяют прессы и молоты. Выбор оборудования зависит от технологии получения поковок, заданной программы выпуска и особенностей деформации обрабатываемого сплава. В качестве инструмента дляковки применяют плоские, вырезные или плоско-вырезные бойки.

Таблица 5

Допустимые температурные интервалыковки

Сплавы	Максимальная температура нагрева заготовок, °С	Минимальная температура окончанияковки, °С
Стали	700–800	1150–1300
Алюминиевые	320–400	400–470
Медные	600–850	730–950
Магниевые	300–350	380–430
Титановые	800–850	950–1000

Выделяют основные (осадка, протяжка и прошивка) и вспомогательные (рубка, кузнечная гибка, передача, скручивание и др.) операцииковки.

Технологический процессковки обычно начинается с разделки слитка.

Обычные стальные кузнечные (рис. 23) слитки отливают сверху в изложницы с полостью, имеющей форму усеченной пирамиды и поперечное сечение шести-, восьми-, двенадцатиугольника. Форма слитка учитывает условия кристаллизации металла и требования к поковке. Прибыльная 1 и донная 3 части слитка 2 удаляются в кузнечном цехе. Масса слитка колеблется в пределах $M_{сл} = 0,2 - 350$ т.

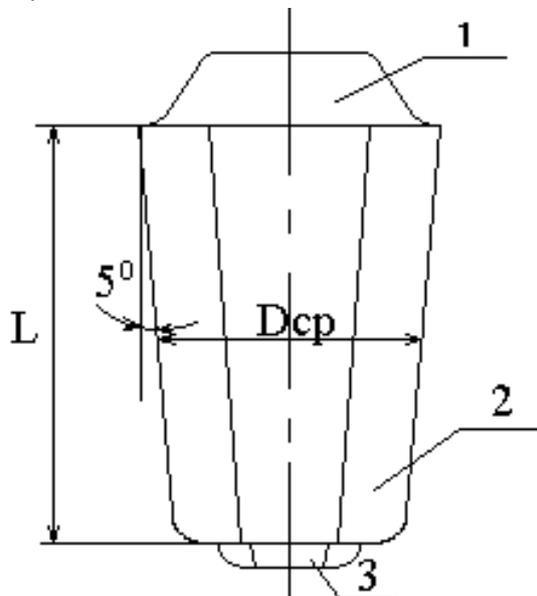


Рис. 23. Схема стального слитка

Отношение наибольшей длины L , используемой для изготовления поковок, к среднему диаметру D_{cp} слитка обычно изменяется в пределах $\frac{L}{D_{н\delta}} = 1,9 - 2,3$.

При значениях $\frac{L}{D_{н\delta}} > 2,3$ наблюдается искривление слитка при ковке.

Для изготовления длинноосных поковок используются удлиненные слитки с соотношением $\frac{L}{D_{н\delta}} = 3 - 5$. Эти слитки не подвергаются осадке бойками либо предусматривается их разрубка на части. Преимущества этих слитков заключаются в более однородном химическом составе металла.

Полые слитки получают методом центробежного литья в изложницы с холодильниками. Размеры полого слитка несколько меньше по сравнению с обычными слитками, так, $\frac{L}{D_{н\delta}} = 1,25$. Важным условием кристаллизации яв-

ляется отношение $\frac{L}{\delta} \approx 4$, (δ — толщина стенки полого слитка). Применяют полые слитки для поковок с отверстиями (устраняется операция прошивки). Преимуществами их являются меньшая продолжительность нагрева перед ковкой и то, что слитки не имеют осевой рыхлости и внецентренной ликвации.

Кроме того, получают малоприбыльные слитки, бесприбыльные, слитки с повышенной конусностью (до 12°).

Слитки из алюминиевых сплавов отливают непрерывным способом, $D_{\max} \approx 800$ мм.

Круглые слитки из магниевых сплавов диаметром до 540 мм также получают непрерывным способом. Таким же способом получают плоские слитки размерами до $165 \times 540 \times 6000$ мм.

Слитки из медных сплавов отливают в водоохлаждаемые изложницы ($D_{\max} = 300$ мм). Возможно непрерывное получение слитков.

Слитки из титановых сплавов получают дуговой вакуумной плавкой с расходуемым электродом в медном водоохлаждаемом кристаллизаторе ($D_{\max} = 700$ мм).

Существуют следующие дефекты слитков:

1. Усадочная раковина и усадочная рыхлость – $V_{\text{ус.рак}} = 1,5-2V_{\text{сл}}$.
2. Плены, появляющиеся в результате брызг жидкого металла при заливке.
3. Возникновение прямой ликвации легирующих компонентов и примесей в сплаве.
4. Трещины, пузыри и т.д.

Если на поверхности отливок сортового проката имеются дефекты (коррозия, плены, трещины), то они удаляются при помощи операций зачистки. Различают газопламенную зачистку, обработку пневмомолотками, зубилами, зачистку полировальными кругами.

Обычно слитки перед ковкой характеризуются структурной неоднородностью металла по сечению. Основным требованием к заготовке служит получение мелкозернистой структуры и однородного химического состава. Степень уменьшения сечения при деформировании может служить показателем проработанности структуры. Оценивают эту степень показателем укова:

$$\dot{O} = \frac{F_{i \dot{\alpha}^+}}{F_{\dot{\epsilon}i}} = \frac{L_{\dot{\epsilon}i}}{L_{i \dot{\alpha}^+}}$$

Анизотропия свойств связана с различием свойств металла в поперечном и продольном направлениях. В этом смысле можно выделить 3 диапазона:

1. $U = 2-3$ – волокнистая структура (только средняя часть заготовки);
2. $U = 3-6$ – одинаковые свойства в продольном и поперечном направлениях (рабочий диапазонковки);
3. $U = 10$ и более – анизотропия свойств.

Разделка слитков является операциейковки и осуществляется с помощью прессов, при этом производится биллетировка слитка (сбивка граней и устранение конуса), удаляется донная и прибыльная части слитка ([рис. 24](#)).

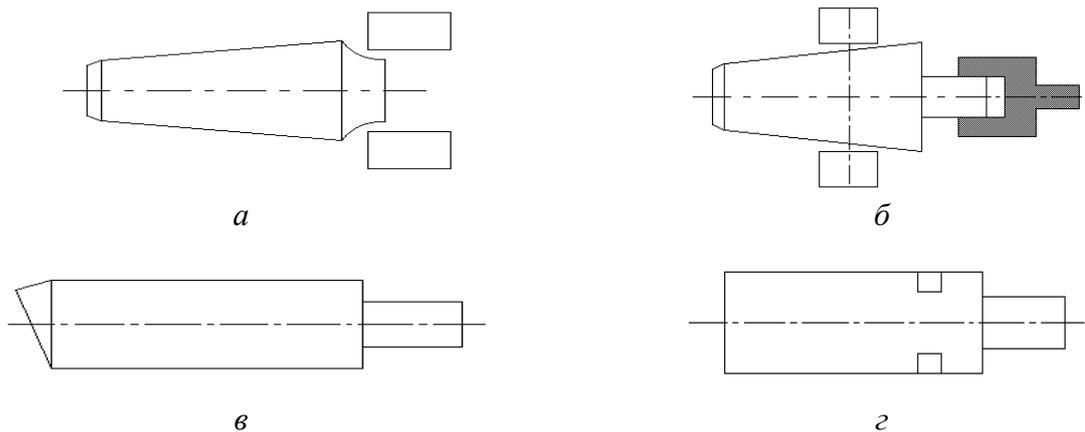


Рис. 24. Билетировка слитка: *а* – оттяжка цапфы под патрон; *б* – протяжка; *в* – отделение донной части; *г* – разметка и отделение прибыльной части

Прокатанный или прессованный металл разделяют на мерные длины в заготовительных отделениях кузнечно-штамповочного цеха. При этом используются резка на пилах, пресс-ножницах, хладноломах, с помощью газовых резаков, токарно-отрезных и горизонтально-фрезерных станках, электроискровая резка.

Резка кривошипными пресс-ножницами (рис. 25) наиболее производительный способ разделки пруткового металла на заготовки. Пруток 1 подается по рольгангу до упора 2 в зону реза между верхним 3 и нижним 4 ножами пресс-ножниц. С целью избежания опрокидывания в процессе резки пресс-ножницы снабжены прижимным устройством 5.

Резка металла происходит в 3 стадии (упругой, пластической и скола). В элемент надавливания ножей в прутке возникают упругие деформации. Под действием пары сил с моментом $M = Pa$ пруток изгибается, причем в зоне соприкосновения ножей с металлом наблюдается смятие последнего. Повороту прутка препятствует сила прижима. В момент, когда напряжения от действия ножей становятся больше сопротивления пластической деформации металла, происходит их внедрение в пруток. По достижении максимально возможной величины внедрения для данного материала образуются встречные трещины, называемые опережающими. При нормальной величине зазора Z между ножами противоположные трещины сходятся, образуя сплошную криволинейную поверхность.

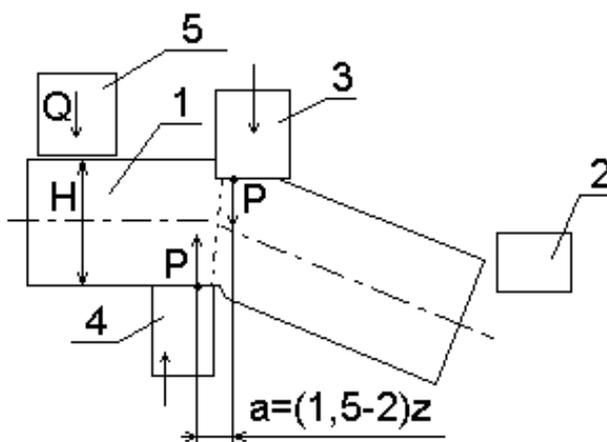


Рис. 25. Схема резки на кривошипных пресс-ножницах

Максимальное усилие, необходимое для резки металла между параллельными ножами, определяют по формуле $P = kF_{\text{ср}}\sigma_{\text{нр}}$, МН, где k – коэффициент, учитывающий условия резки (состояние ножей, скорость резания), $k = 1,0-1,7$; $\sigma_{\text{нр}}$ – сопротивление срезу, принимаемое равным $0,7-0,8$ от предела прочности материала; $F_{\text{ср}}$ – площадь среза.

Резку высокоуглеродистой и легированной сталей ведут с подогревом до $t = 450-650$ °С.

Различают 3 вида пил: зубчатые, гладкие (пилы трения) и электромеханические. Заготовки, получаемые с помощью пил характеризуются точностью размеров, хорошим качеством реза и перпендикулярностью торца к оси заготовки. Но производительность при резке пилами значительно ниже, чем на кривошипных ножницах.

Зубчатыми пилами режут как сталь, так и цветные металлы. Различают ленточные и дисковые пилы.

Пилы трения получили небольшое распространение. Принцип их действия заключается в выделении большого количества тепла при трении о металл гладкого диска или диска с тупыми П-образными зубьями.

При использовании электромеханических пил в месте контакта создается электродуга, которая способствует расплавлению. Они сходны с пилами трения, но производительность их выше и производят они меньше шума.

Ломка хладноломами (рис. 26) применяется для разделки прутков на заготовки из стали средней твердости. Пруток 1, предварительно надрезанный, укладывается на ломатель 2 до упора 3. При надавливании опор 4 на пруток в месте надреза происходит ломка.

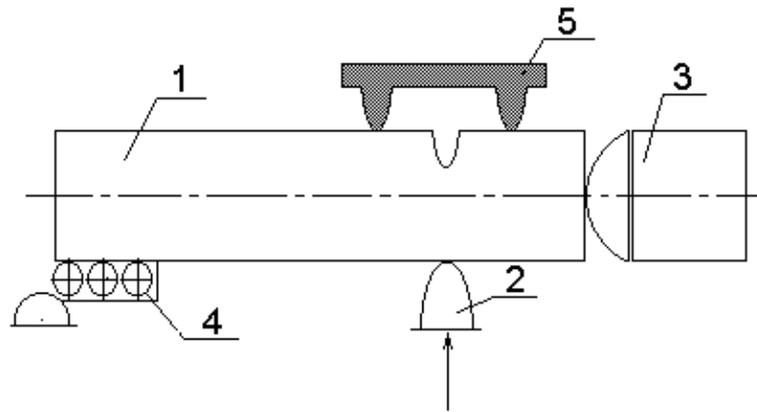


Рис. 26. Схема ломки с помощью хладнолома

Усилие ломки круглых прутков $P = (0,4\beta D^3 \sigma_a) \frac{1}{l_o}$.

Усилие ломки квадратных прутков $P = (0,5\beta H^3 \sigma_a) \frac{1}{l_o}$, где β – коэффициент поправки, $\beta = 0,4 - 0,9$.

Газопламенная резка заключается в местном нагреве металла в струе кислорода. С ее помощью можно получить контуры реза сложной формы. Большие потери металла происходят по месту резки в шлак (слой 4–6 мм). В качестве горючего используют ацетилен, бензин, керосин. Нельзя обрабатывать легированные стали, так как в зоне реза наблюдаются структурные изменения металла (рост зерна, выгорание легированных элементов и т. д.). Кроме того, недостатком этого способа резки является недостаточно высокая производительность. К другим видам резки относятся:

- а) плазменная (аргоно-водородные, азотно-водородные смеси);
- б) лазерная;
- в) электроискровая резка;
- г) анодно-механическая;
- д) резка взрывом;

Потери металла можно разделить на прямые и косвенные. К прямым (зависят от способа резки) относятся:

- а) пилы – отходы на пропили;
- б) электрическая и газовая резка – потери на сгорание и расплавление;
- в) хладноломы – потери при последующей штамповке в облой;

К косвенным относятся: неточность резки, потери на концы, некратность.

Расход металла

$$Q = Q_3 k,$$

где Q_3 – масса заготовки; k – коэффициент, $k = \frac{L}{L - l_i}$; L – длина прутка; l_n – длина заготовки.

Этапы разработки технологического процессаковки включают:

- составление чертежа поковки;

- выбор размеров заготовки;
- назначение операций ковки;
- выбор оборудования;
- выбор способа нагрева и назначение температурного интервала ковки;
- определение вида отделочных операций и их последовательности;
- оценка технико-экономических показателей процесса.

Лекция 8

(ауд. занятия – 2 ч, самостоят. работа – 2 ч).

Осадка. Технологические характеристики и разновидности осадки. Протяжка. Формоизменение и энергосиловые затраты при протяжке. Разновидности протяжки. Прошивка. Открытая и закрытая прошивка. Особенности технологии прошивки сплошным и полым прошивнем.

Основными формоизменяющими операциями ковки являются осадка, протяжка и прошивка. Оборудованием для проведения этих операций являются в основном молоты и прессы.

Осадкой называется технологическая операция, при которой увеличение сечения заготовки, перпендикулярное к действующей силе, происходит за счет уменьшения размера по высоте (рис. 27).

Чтобы избежать потери устойчивости и появления продольного изгиба, осадке подвергают заготовки высотой $H_0 \leq (2,5-3)D_0$, где D_0 – диаметр исходной заготовки.

При осадке в результате взаимодействия поверхности инструмента и деформируемого металла возникают силы контактного трения, препятствующие радиальному перемещению приконтактных слоев металла, при этом диаметр образца неравномерно увеличивается и образуется «бочка». Осадка с образованием «бочки» приводит или к снижению производительности оборудования в случае, если после осадки применяется обкатка заготовки по боковой поверхности, или к повышенному расходу металла, если обкатку не применять, так как на образование «бочки» потребуется дополнительный объем металла. При недостаточной пластичности металла на боковой поверхности заготовки возможно образование трещин.

Протяжкой называется операция, в результате которой происходит увеличение длины вследствие уменьшения поперечного сечения деформируемой заготовки (рис. 28). Типовой поковкой является поковка «вал».

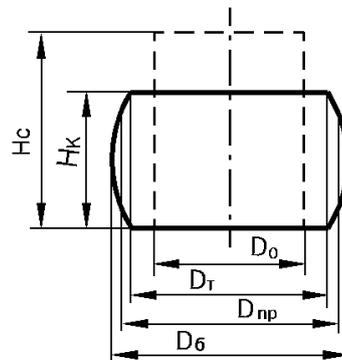


Рис. 27. Схема осадки

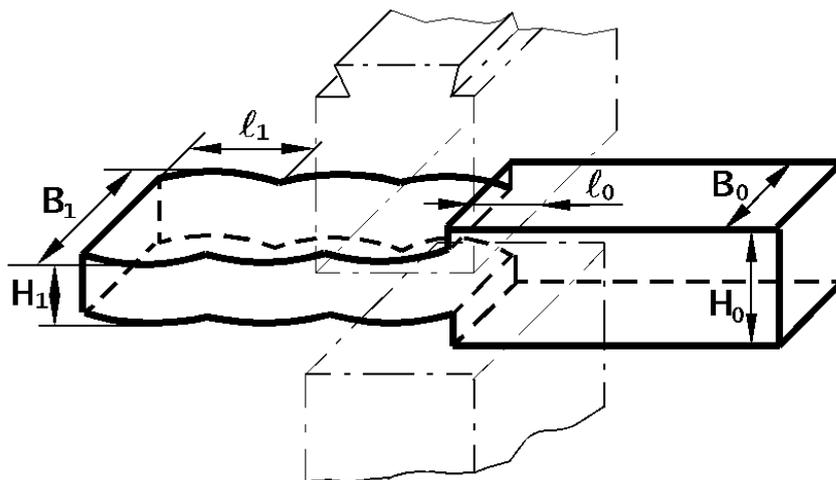


Рис. 28. Схема протяжки бруса: H_0, B_0 – начальные высота и ширина бруса; H_1, B_1 – размеры после протяжки; l_0 – подача; l_1 – длина обжатого участка

Протяжку осуществляют путем обжима заготовки при продольной подаче с определенным шагом. Сумма определенного числа нажатий до одной и той же толщины заготовки без ее поворота называется проходом. Если заготовку после прохода повернуть вокруг горизонтальной оси на 90° (кантовать) и снова осуществить протяжку, то получим второй проход. Два прохода с кантовкой между ними называется переходом.

Чтобы не произошло продольного изгиба во втором проходе после кантовки заготовки на 90° значение отношения ширины заготовки к ее высоте после прохода (коэффициент перехода) не должен быть более 2,5. Процесс протяжки характеризуется следующими основными параметрами:

– абсолютной подачей l_0 – длина, на которую подается заготовка за каждое обжатие (шаг подачи);

– относительной подачей $\psi = \frac{l_0}{A_0}$, где B_0 – ширина заготовки;

– степенью обжатия $\varepsilon_i = \frac{I_0 - I_1}{I_0} 100\%$;

– коэффициентом укова $y = \frac{F_0}{F_1} = \frac{L_1}{L_0}$, где F_0 и F_1 – соответственно,

площадь поперечного сечения до и после протяжки, а L_0 и L_1 – длина до и после протяжки. Для поковок типа «кольцо» применяют разновидность протяжки – раскатку.

Прошивкой (рис. 29) называется основная кузнечная операция, посредством которой в заготовке получают отверстие (сквозная прошивка) или углубление (несквозная прошивка).

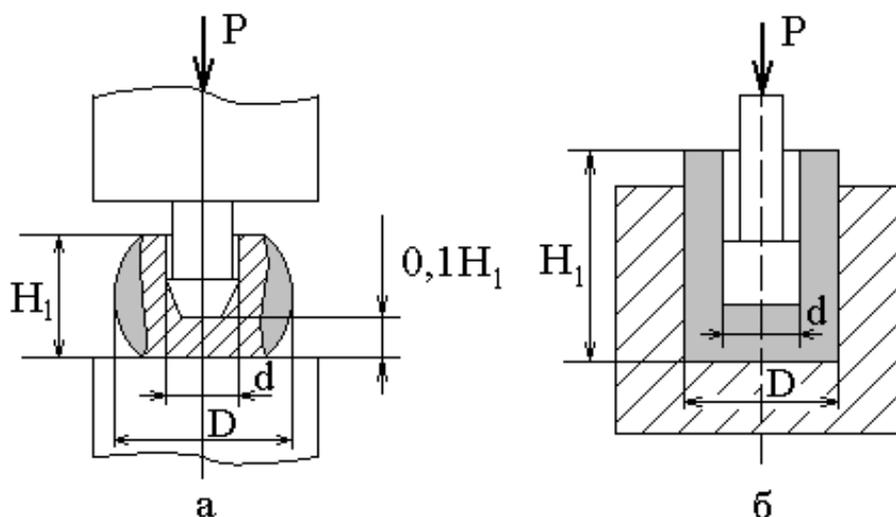


Рис. 29. Схема открытой и закрытой прошивки

Различают открытую (рис. 29, а) и закрытую (рис. 29, б) прошивку.

При открытой прошивке боковая поверхность заготовки свободна от воздействия инструмента, течение металла не ограничено, поэтому она приобретает бочкообразную форму. При закрытой прошивке формоизменение металла ограничено стенками инструмента, при этом на последней стадии прошивки металл течет в направлении, противоположном направлению перемещению пуансона (прошивня), формируя стенки изделия в зазоре между матрицей и пуансоном (рис. 29, б). Перед открытой прошивкой заготовку необходимо осадить с целью получения необходимой толщины стенок прошиваемого цилиндра, обеспечивающей хорошую боковую поверхность поковки, получения параллельных торцов для лучшей установки прошивня и уменьшения высоты заготовки, чтобы облегчить прошивку. Более длинная поковка после прошивки получается путем протяжки на оправке.

Прошивку осуществляют в следующей последовательности (рис. 30). В месте, где необходимо получить отверстие в заготовке, устанавливают прошивень торцом меньшего диаметра и внедряют его в тело заготовки. Высоту прошивня увеличивают с помощью цилиндрических надставок, диаметр которых меньше диаметра прошивня.

Прошивка на сплошной опоре до получения сквозного отверстия производиться не может, так как резко возрастает усилие, при этом есть опасность подсаки прошивня. Прошивку осуществляют до толщины дна $h = \frac{d}{\sqrt{6}}$, а затем заготовку кантуют на 180° , удаляют надставки и другим просечным прошивнем, диаметром несколько меньшим прошивного, установленным широким торцом на заготовку, дают сквозную прошивку с отходом, называемым выдрой (рис. 30, б).

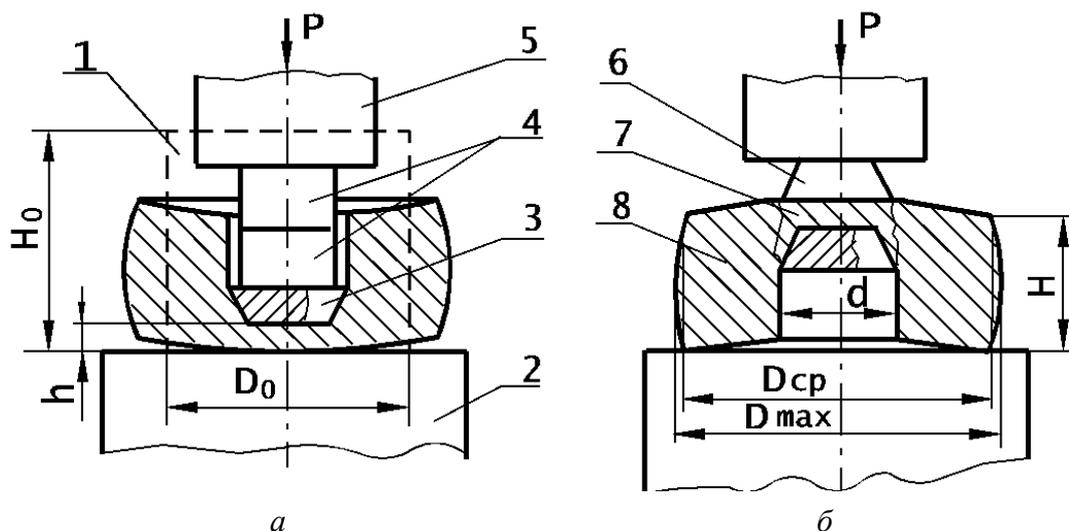


Рис. 30. Схема прошивки сплошным прошивнем: а – прошивка; б – просечка; 1 – заготовка; 2, 5 – бойки; 3 – прошивень; 4 – надставка; 6 – прошивень просечной; 7 – выдра; 8 – прошитая поковка

Прошивку полым прошивнем применяют при размерах отверстия, превышающих диаметр, равный 400 мм. Для получения сквозных полостей применяют подкладной инструмент.

Основным показателем, влияющим на деформацию металла при прошивке и энергосиловые затраты процесса, является отношение диаметра поковки D к диаметру прошивня d . Открытая прошивка применяется при $D/d > 2$, закрытая при $D/d < 2$. Усилие и давление прошивки также зависят от отношения D/d и формы пуансона. Следует отметить, что усилие закрытой прошивки при прочих равных условиях больше, нежели усилие открытой прошивки, что объясняется большими энергосиловыми затратами при формировании стенки изделия на последней стадии деформации.

2.2. Объемная штамповка

Лекция 9

(ауд. занятия – 2 ч, самостоят. работа – 2 ч).

Горячая и холодная объемная штамповка. Деформация при объемной штамповке. Экономическая целесообразность применения штамповочных операций. Штампы. Особенности холодной объемной штамповки. Разработка технологического процесса производства поволоков методами объемной штамповки. Имитационные модели различных видов объемной штамповки.

Штамповка – это деформация металла в штампах, форма которых приближается к форме готовой детали или точно ей соответствует. Различают холодную и горячую объемную штамповку. Последняя проводится при

температуре заготовок выше температуры рекристаллизации обрабатываемого металла или сплава. Штамповка в отличие от ковки позволяет металлу претерпевать деформацию по трем осям и получать фиксированные размеры в объеме.

К преимуществам штамповки относятся: небольшое число обжатий, высокая производительность, малоотходность по сравнению с ковкой и обработкой резанием. Себестоимость штамповки в 2-3 раза ниже себестоимости изготовления детали резанием. Однако эти преимущества реализуются только в серийном специализированном производстве из-за большой стоимости штампов. В развитых промышленных странах горячей объемной штамповкой изготавливают по 1–1,5 млн т в год стальных поковок.

Около 80 % штампованных поковок производят на универсальных паровоздушных штамповочных молотах (ПВШМ), кривошипных горячештамповочных прессах (КГШП) и горизонтально-ковочных машинах (ГКМ). Имеется тенденция к замене молотов прессами. Наиболее крупные изделия штампуют на гидравлических прессах усилием до 750 МН. Расширяется применение винтовых штамповочных пресс-молотов (ВШПМ) и горячештамповочных автоматов (ГША). Оборудование для серийной штамповки объединяют в гибкие производственные модули, оснащенные роботами-манипуляторами и управляемые ЭВМ.

Экономическая целесообразность объемной штамповки и выбора ее способов зависит от множества факторов, основными из которых являются следующие:

- тип производства (массовое, серийное);
- свойства и себестоимость металла или сплава;
- тип оборудования, на котором производится деформация металла.

В качестве инструмента применяется приспособление, имеющее две или большее число частей, при сопряжении которых образуется объемная полость по форме детали, которая называется штампом. Количество штампов, необходимых для производства различных деталей, соответствует количеству штампуемых поковок.

Штамп состоит из следующих основных частей ([рис. 31](#)):

- верхняя плита 1;
- нижняя плита 2;
- верхняя часть штампа (пуансон) 3;
- нижняя часть штампа (матрица) 4;
- направляющие колонки 5, входящие в направляющие втулки 6;
- хвостовик 7 (запрессован в верхнюю плиту, вставляется в гнездо ползуна пресса и там крепится).

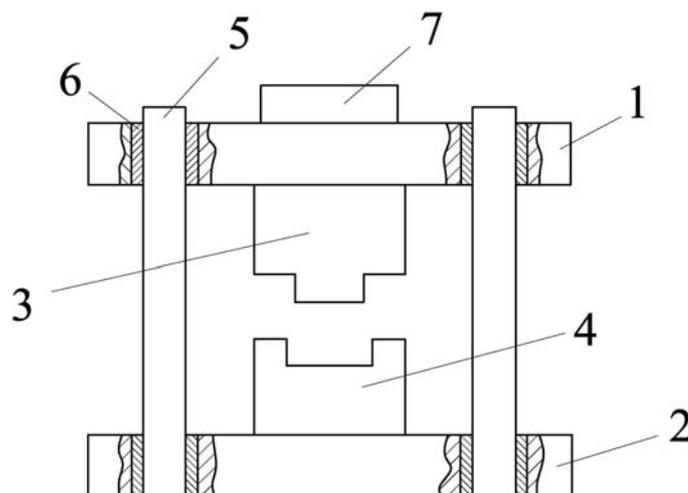


Рис. 31. Типовая конструкция штампа для объемной штамповки

Холодная объемная штамповка (ХОШ) основана на использовании холодной пластической деформации. Все операции ХОШ разделены на 12 групп с индексами от А до Н, каждому из которых соответствует ряд с порядковым номером 1–12. Основными из них являются следующие:

- осадка;
- объемная формовка;
- плоскостная и объемная калибровка;
- холодное выдавливание;
- высадка;
- чеканка.

ХОШ имеет следующие преимущества:

- высокие механические свойства деталей из-за деформационного упрочнения;
- высокую точность размеров и качество ковки (8–9 класс);
- увеличение коэффициента использования металла (в среднем до 82–93 %);
- высокую производительность процесса и возможность механизации и автоматизации (в 5–10 раз производительность выше на кривошипных прессах-автоматах по сравнению с современными автоматами для обработки резанием таких же деталей).

В качестве недостатка можно выделить высокие удельные нагрузки на инструмент и, как следствие, низкую стойкость штамповой оснастки.

Типовой технологический процесс объемной штамповки состоит из резки проката на заготовки, их нагрева, собственно штамповки, обрезки облоя, правки, термообработки поковок, удаления окалины, холодной калибровки (чеканки) и контроля качества.

Общий технологический процесс формоизменения независимо от вида оборудования включает несколько этапов:

1. Подготовительные операции (фасонирование, осадка и др.).

2. Оформление поковки (штамповочные операции).
3. Вспомогательные операции (обрезка облоя, термообработка и др.)
4. Отделочные операции (обработка резанием, калибровка и др.)

По технологическому признаку выделяют следующие разновидности:

- штамповку на молотах;
- штамповку на кривошипных горячештамповочных прессах (КГШП);
- штамповку на горизонтально–ковочных машинах (ГКМ).

На молотах осуществляется штамповка и в закрытых и в открытых штампах. Используются штамповочные молоты (для стальных поковок) с массой падающих частей 15–25 т. В качестве достоинств этого вида штамповки можно выделить следующие:

- возможность осуществления энергоемких операций за счет высоких скоростей деформации и многократного обжатия в ручьях;
- универсальность и простоту эксплуатации;
- возможность деформации малопластичных сплавов.

А в качестве недостатков отмечают следующие:

- низкая степень автоматизации и механизации;
- экологический вред и тяжелые условия труда;
- необходимость в больших фундаментах.

В качестве инструмента применяют молотовые штампы ([рис. 32](#)).

На штампе может быть расположена площадка для осадки (как правило, она выполнена в угловом элементе штампа), нож и различные ручьи.

В молотовых штампах применяют следующие.

1. Штамповочные ручьи:

- окончательный (чистовой), где производится получение окончательной поковки;
- предварительный (черновой), который, как правило, выполняется без заусеничной канавки, служит для придания заготовке формы, близкой к окончательному ручью, и применяется при штамповке стальных поковок.

2. Заготовительные ручьи:

- формовочный ручей, который служит для придания заготовке формы, соответствующей форме поковки в полости ручья (для получения контура поковки в плане);
- гибочный ручей, который придает поковке определенный угол изгиба;
- пережимной ручей, который необходим для уширения заготовки поперек ее оси;
- подкатный ручей, который предназначен для увеличения одних поперечных размеров заготовки за счет других вследствие перемещения металла вдоль оси заготовки;
- протяжной ручей, который необходим для увеличения длины заготовки.

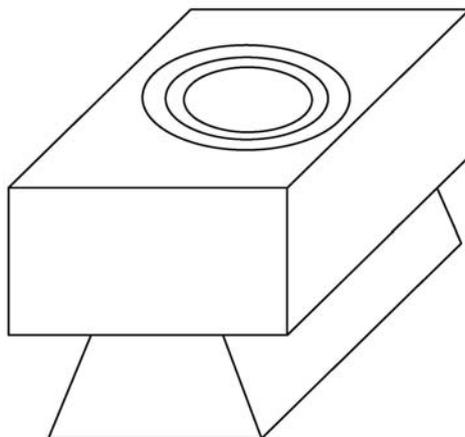


Рис. 32. Вид нижней половины молотового штампа

Разработка технологического процесса штамповки на молотах включает следующие этапы:

1. Определение массы падающих частей молота.
2. Выбор штамповочных переходов (последовательность формоизменения металла в различных ручьях штампа).
3. Определение массы заготовки и ее размеров с учетом объемов поковки, угара металла и заусенца ($V_{\text{заг}} = V_{\text{пок}} + V_{\text{угар}} + V_{\text{заус}}$).
4. Определение режима нагрева заготовки.
5. Конструирование поковки и штампа (нанесение линии разъема, назначение штамповочных уклонов и радиусов закругления).

Штамповка на КГШП является более современным видом обработки металла, так как позволяет исключить динамические удары и осуществлять деформацию за счет нажимов бойками. При этом КГШП имеют более высокий коэффициент полезного действия (КПД) и примерно при той же производительности возможности более полной механизации и автоматизации. Так как КГШП сравнительно тихоходная машина, то деформацию металла осуществляют, как правило, в двухручьевом штампе. В качестве вспомогательного оборудования для фасонирования заготовок (приближения к окончательной форме поковки) используются ковочные вальцы.

Технологический процесс штамповки на КГШП состоит из следующих операций:

- вальцовки;
- штамповки в предварительном ручье;
- штамповки в окончательном ручье;
- обрезки заусенца на обрезных прессах.

Разработка технологического процесса включает следующие этапы:

1. Составление чертежа поковки:
 - выполнение чертежа горячей поковки (инспекционной);
 - выбор плоскости разъема штампа;
 - назначение припусков, допусков, напусков;
 - назначение штамповочных уклонов;

- определение радиусов закругления.
- 2. Назначение переходов штамповки.
- 3. Выбор формы и размеров заготовки.
- 4. Выбор прессы.
- 5. Конструирование штампа.
- 6. Выбор способа нагрева и назначения температурного интервала.
- 7. Определение вида отделочных операций и их последовательности.
- 8. Оценка технико-экономических показателей процесса.

Штамповкой на горизонтально-ковочных машинах (ГКМ) изготавливают преимущественно ассиметричные поковки в виде стержней с утолщениями разной формы. Особенностью является то, что штампы имеют плоскость разъема в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

К преимуществам данного процесса относятся:

- штамповка, которая, как правило, проводится без облоя, то есть когда нет необходимости в дополнительных операциях;
- отсутствие штамповочных уклонов;
- простота конструкции штампов;
- возможность изготовления длинноосных деталей;
- получение волокнистой структуры;

Штамповка проводится в следующих ручьях:

- наборном;
- формовочном;
- прошивном;
- обрезном.

Процесс штамповки осуществляется в следующем порядке. Пруток с нагретым концом помещают в неподвижную матрицу. Положение прутка определяется упором. С пуском машины в ход начинается движение подвижной блок-матрицы и ползуна машины. До соприкосновения пуансона с выступающим торцом прутка подвижная матрица прижимает пруток к неподвижной, а упор автоматически отходит в сторону. При дальнейшем движении ползуна пуансон производит высадку участка прутка, выступающего за пределы зажимной части матрицы.

Лекция 20

(ауд. занятия – 2 ч, самостоят. работа – 2 ч).

Штамповка в открытых штампах. Стадии течения металла при штамповке в открытых штампах. Усилие деформации и выбор оборудования. Штамповка в закрытых штампах, преимущества и недостатки по сравнению со штамповкой в открытых штампах. Технологическое назначение заусенца. Штамповка выдавливанием. Специализированное технологическое назначение штамповки выдавливанием и ее особенности.

Различают штамповку в открытых и закрытых штампах (рис. 33). В открытом штампе избыток металла выдавливается наружу (в облой), поэтому заготовки можно нарезать с малой точностью на пресс-ножницах. При безоблойной штамповке весь металл расходуется на изделие, но появляется необходимость в точной дозировке металла, что возможно при резке заготовок на пилах.

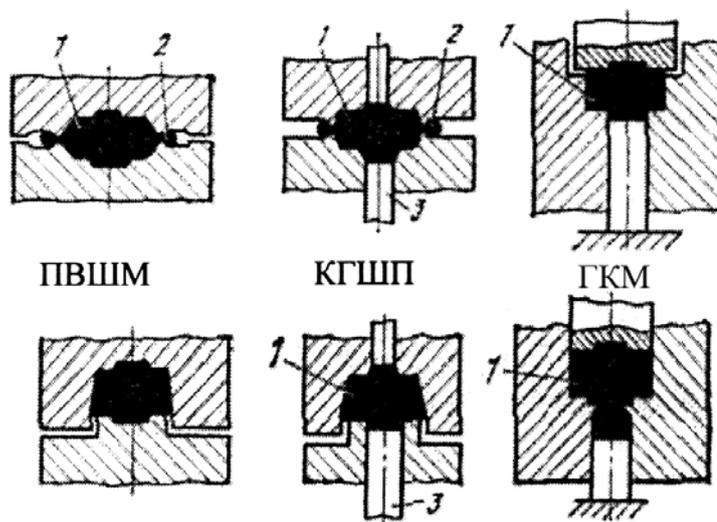


Рис. 33. Схемы штамповки на различных видах оборудования:
1 – ручей штампа; 2 – облой; 3 – выталкиватель

Фасонные штампованные детали получают окончательную форму в чистовом штампе, а предварительную – либо в черновом (заготовительном) штампе, либо на специализированном оборудовании (ковочных вальцах), либо свободной ковкой.

Штамповка в открытых штампах сопровождается образованием заусенца (облоя), который выполняет специальные технологические функции.

На рис. 34 представлена схема штамповки в открытых штампах. Верхняя половина штампа 1 перемещается под действием усилия P и давит на торцевые поверхности заготовки 5. Металл при этом деформируется в ручьях 6 штампа, образованного верхней 1 и нижней 2 половинами, и, заполняя его, вытекает в заусенечную канавку 3. Сформированная таким образом поковка 4 имеет по периметру заусенец (облой) 7. Для извлечения поковки из штампа служат штамповочные уклоны α , величина которых составляет $5-10^\circ$.

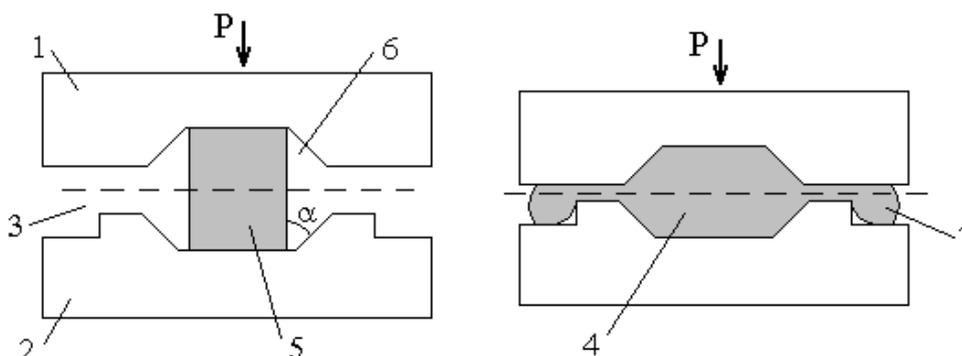


Рис. 34. Схема штамповки в открытых штампах

Открытая штамповка характеризуется следующими факторами.

Объем металла при ней – непостоянен. Следовательно, имеется часть металла, которая удаляется в отход. При этом должно соблюдаться условие $V_{\text{заг}} = V_{\text{пок}} + V_{\text{заус}}$, где $V_{\text{заг}}$, $V_{\text{п}}$, $V_{\text{з}}$ – соответственно, объемы заготовки, поковки и заусенца.

Направление вытеснения металла перпендикулярно направлению движения штампа.

Заусенец (облой) создает противодействие, которое, увеличивая гидростатическое давление в штампе, обеспечивает заполнение угловых элементов ручья, при этом реализуется возможность регулирования заполнения штампа.

При открытой штамповке выделяют три основные стадии течения металла (рис. 35): свободную осадку (рис. 35, а); заполнение штампа (рис. 35, б) и выдавливание заусенца (рис. 35, в). На практике существует и четвертая (нежелательная) стадия, когда ручьи штампа заполнены, но поковка не выполнена по высоте (ее часто называют доштамповкой). Постадийное изменение усилия штамповки представлено на рис. 36, з.

Основной недостаток штамповки в открытых штампах – это большие потери металла на заусенец, которые зависят от массы и формы поковок и могут достигать 30 % и более. Кроме того, волокна металла при удалении облоя оказываются перерезанными, что существенно снижает качество поковок.

Заусенечную щель выполняют в виде специальной канавки. Она состоит из магазина (приемной части) и мостика (переходная часть от основной полости штампа). Магазин должен быть заполнен не более чем на две трети от своего объема, в противном случае возможна поломка штампа. Канавки (рис. 36) выполняют двух видов:

для машин со свободным ходом (молот, гидропресс);

для машин с регламентированным ходом (кривошипные прессы).

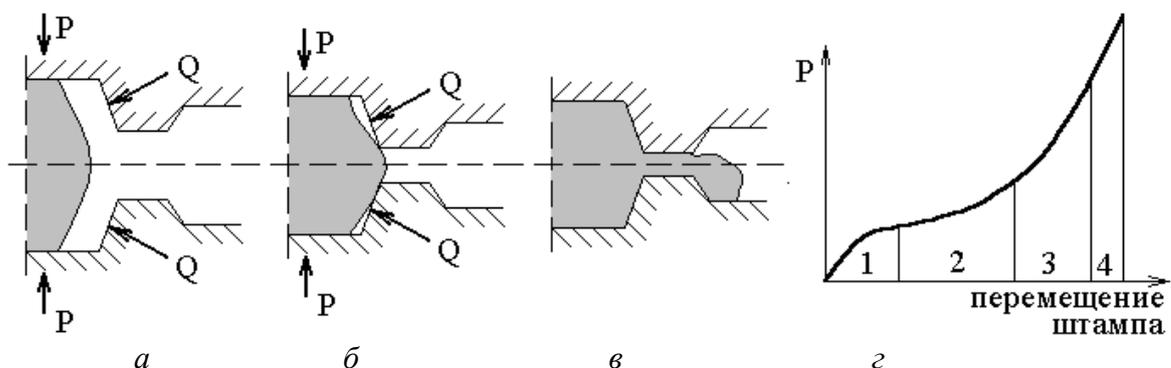


Рис. 35. Схема стадий течения металла при штамповке: а – стадия свободной осадки; б – стадия заполнения штампа; в – стадия выдавливания заусенца

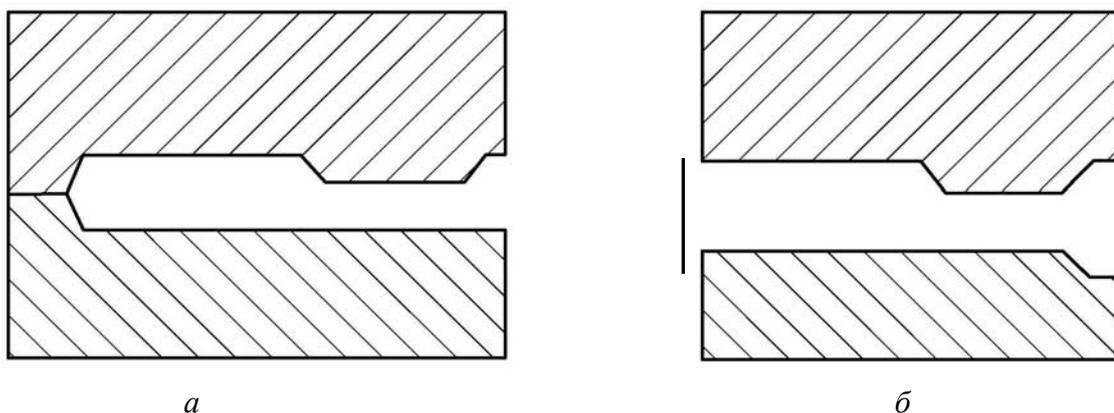


Рис. 36. Формы заусенечной канавки: *а* – для машин со свободным ходом; *б* – для машин с регламентированным ходом

Штамповку в закрытых штампах (безоблойную штамповку) применяют для получения поковок несложной формы с небольшой разницей в размерах сечений. Заготовка 5 диаметром D_0 и высотой H_0 (рис. 37) помещается в штамп, основными частями которого являются пуансон 1, матрица 2 и выталкиватель 3. При перемещении пуансона происходит последовательное осаживание заготовки и заполнение полости штампа с образованием поковки заданных размеров и формы. При этом инструмент не обеспечивает свободного удаления цилиндрической поковки 4 из ручья штампа. Для удаления поковки из полости штампа применяют штамповочные уклоны α и выталкиватель 3. Для горизонтально-ковочных машин штамп может быть выполнен разъемным и состоять из трех частей (пуансон и разъемная матрица).

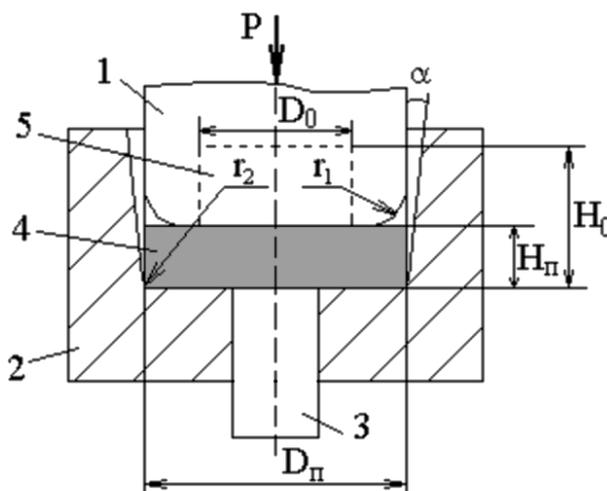


Рис. 37. Схема штамповки в закрытых штампах

Практически некоторая часть металла затекает в зазоры между разъемными частями закрытого штампа, образуя незначительный заусенец. Объем последнего зависит от колебаний объема заготовки и износа штампа. Большой объем заготовки из-за отсутствия возможности фиксировать момент за-

полнения ручьев (окончание процесса штамповки) приводит к распору штампа, что отрицательно сказывается на его долговечности. Поэтому основным соотношением, принятым для технологических расчетов при штамповке в закрытых штампах, является $V_{\text{заг}} \approx V_{\text{руч}}$.

Штамповка в закрытых штампах характеризуется значительной экономией металла, отсутствием дополнительной операции обрезки облоя, благоприятной схемой всестороннего сжатия, меньшей величиной уклонов ($\alpha = 1-3^\circ$), чем при открытой штамповке. Особенно эффективна схема штамповки в закрытых штампах для малопластичных сплавов, так как боковой подпор стенок полости штампа значительно повышает гидростатическое давление, в результате чего пластичность металла возрастает. Кроме того, макроструктура поковок характеризуется тем, что волокна металла получают очертания контура поковки и не перерезаны.

Основным недостатком способа штамповки в закрытых штампах является его неуниверсальность. Например, круглый контур поковки при штамповке в закрытых ручьях неприемлем из-за нетехнологичности конструкции инструмента, что характеризуется низкой стойкостью кромок штампа. Существенно снижают область применения закрытых штампов ограниченность рациональных форм штампуемых поковок и необходимость точной дозировки металла, кроме того, точность поковки по высоте ниже, чем при штамповке в открытом штампе.

Во избежание перегрузки штампов и оборудования при нарушении условия равенства объемов заготовки и поковки применяют компенсаторы. Это специальный приемник излишков металла, расположенный в месте наиболее трудного заполнения металлом штампа, в который выдавливается лишний металл после оформления поковки. В отдельных случаях компенсатор выполняет те же функции, что и заусенечная канавка, при этом металл тормозится при выходе из полости штампа, обеспечивая заполнения всех его углов, и в то же время излишки металла поступают в компенсатор, не создавая перегрузки инструмента и оборудования.

Так как при закрытой штамповке не предусматривается заусенец и реализуются только 2 стадии формоизменения (осадка и заполнение штампа), то усилие при всех других одинаковых параметрах всегда меньше усилия штамповки в открытых штампах.

К преимуществам штамповки в закрытых штампах относятся:

- отсутствие дополнительных операций обрезки заусенца;
- благоприятная для обработки схема всестороннего сжатия;
- значительная экономия металла по сравнению со штамповкой в открытых штампах.

Недостатками являются:

- неуниверсальность, ограниченность форм штампуемых поковок;
- необходимость точной дозировки металла в полости штампа: $V_{\text{заг}} = V_{\text{пок}}$;
- точность поковок по высоте бывает ниже, чем при штамповке в открытых штампах;

– более сложная конструкция штампа (наличие выталкивателей).

Штамповка выдавливанием устраняет один из недостатков закрытой штамповки – необходимость точной дозировки металла за счет конструктивно нового решения формы штампа (рис. 38). Поковка в таком штампе состоит из двух основных частей: корпуса и стержневой части, а штамп выполнен закрытым с двумя плоскостями разъема, причем имеется основная полость штампа, характеризующаяся диаметром D (рис. 38, а), и полость выдавливания диаметром d . В качестве разновидностей данного процесса выделяют прямое, обратное, комбинированное и боковое выдавливание, отличающиеся направлением перемещения металла относительно направления перемещения инструмента.

При штамповке выдавливанием можно выделить несколько преимуществ. Одно из них – это возможность получения поковок из малопластичных сплавов с точными размерами и качественной поверхностью, пластическая деформация которых облегчается в условиях всестороннего неравномерного сжатия. Вторым достоинством является возможность выдавливания в стержневую часть поковки излишка металла и его последующее удаление. Таким образом, при штамповке выдавливанием по сравнению с закрытой штамповкой нет необходимости в точной дозировке объема металла. Процесс штамповки характеризуется уменьшением металла в основной полости инструмента, высоким качеством поковок, а также отсутствием отхода металла в заусенец.

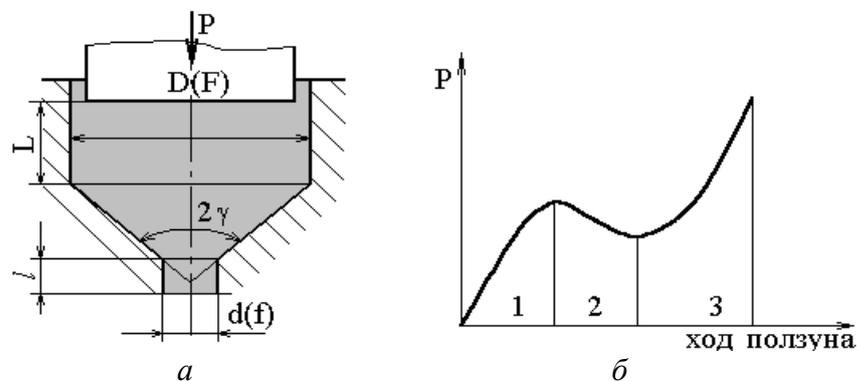


Рис. 38. Штамповка выдавливанием: а – схема процесса; б – диаграмма усилия штамповки

Наиболее важными недостатками процесса являются высокие удельные усилия деформации и как следствие относительно низкая стойкость инструмента, ограниченность форм поковок, сложная конструкция рабочего инструмента.

Течение металла при штамповке выдавливанием осуществляется в следующей последовательности: осадка до момента соприкосновения с боковыми стенками основной полости штампа; заполнение основной полости штампа; заполнение полости выдавливания и формирование поковки

2.3. Листовая штамповка

Лекция 11

(ауд. занятия – 2 ч, самостоят. работа – 2 ч).

Общие сведения о листовой штамповке. Достоинства и особенности технологии производства изделий методами листовой штамповки. Разделительные и формоизменяющие операции листовой штамповки. Оборудование и инструмент для производства листоштампованных деталей. Формирование технологической схемы изготовления деталей методами листовой штамповки.

Листовая штамповка – это один из наиболее прогрессивных видов производства. Она имеет ряд технологических и экономических преимуществ перед другими способами обработки металлов давлением, а именно:

- получение жестких и прочных деталей малого веса и сложной формы;
- высокая производительность на основе автоматизации;
- экономное использование материала;
- низкая стоимость изделий.

Изделия штампуют из полосовой, листовой или ленточной заготовок сталей, цветных металлов, металлов с пластмассовыми покрытиями. По способу пластической деформации штамповку листа подразделяют на резку, гибку, вытяжку и формовку (см. ниже). В зависимости от толщины заготовки различают тонколистовую (до 4 мм) и толстолистовую штамповку; заготовки толщиной более 15–20 мм штампуют в горячем состоянии. В одном штампе обычно экономически выгодно совмещать несколько операций штамповки. По способу совмещения операций различают штамповку:

- совмещенную, которая осуществляется в несколько операций одновременно за один ход пресса и за одну установку заготовки в штампе;
- последовательную – осуществляется, когда несколько операций осуществляются последовательно отдельными пуансонами за несколько ходов пресса при перемещении заготовки между ними, так что за каждый ход пресса получается готовая деталь;
- совмещено-последовательную, где комбинируются первые два варианта.

Основными направлениями развития штамповки листа являются: расширение производства штампованных из листа изделий взамен литых и кованных, комбинация штамповки листа и сварки, механизация и автоматизация штамповки, совершенствование конструкций штампов и технологии штамповки. Замена в массовом производстве литых и кованных деталей штампованными из листа позволяет снизить массу изделий на 25–50 %, расход металла на 30–70 %, трудоемкость изделий на 50–80 %.

Основные операции листовой штамповки делятся на разделительные (отрезка, вырубка, пробивка, обрезка, надрезка и т. п.) и формообразующие

(гибка, скручивание, закатка, правка, вытяжка, рельефная формовка, отбортовка, чеканка, редуцирование, высадка и т. д.). Общим для них является, во-первых, применение заготовки из плоского проката, во-вторых, незначительное изменение толщины заготовки в операциях листовой штамповки. Разделительные операции листовой штамповки подразделяются по типу используемого инструмента (оборудования) на две подгруппы: резку металла ножницами, являющуюся в большинстве своем заготовительной, и резку металла штампами.

Для разделительных и формоизменяющих операций листовой штамповки применяют различные виды оборудования. Основным из них являются кривошипные листоштамповочные прессы различного усилия. Кроме того, в цехах листовой штамповки применяются гильотинные ножницы, гидравлические и чеканочные прессы, гибочные автоматы, агрегаты лазерной резки и др. В качестве инструмента применяют штампы, конструкция которых может быть и достаточно простой (вырубной штамп), и достаточно сложной (штампы совмещенного или последовательно действия). Технически совершенные, но сложные и дорогие штампы экономически выгодно применять в крупносерийном и массовом производстве.

Типовой технологический процесс листовой штамповки состоит из следующих этапов: подготовительные операции (раскрой, резка на заготовки и т. д.), штамповочные и отделочные операции. Кроме собственно штамповки листовых материалов в цехах осуществляют правку заготовок, термические и отделочные операции: промежуточные отжиги для восстановления пластических свойств металла, полирование, окрашивание и т. д. Технологическая схема штамповки формируется исходя из наличия основного штамповочного и вспомогательного оборудования, сложности детали и требований к ее механическим свойствам.

Лекция 12

(ауд. занятия – 2 ч, самостоят. работа – 2 ч).

Резка листовых материалов на ножницах. Пробивка и вырубка листовых металлов. Раскрой листов, полос и лент. Гибка листовых металлов. Схема гибки и ее разновидности. Формоизменение при гибке. Вытяжка листовых металлов. Классификация видов вытяжки и технологические характеристики. Особенности расчета технологического процесса вытяжки осесимметричных деталей. Формовка, разновидности и особенности операции.

Для холодной листовой штамповки листовые металлы с помощью ножниц предварительно разрезают на полосы или заготовки необходимых размеров. Основными типами ножниц, применяемых в листоштамповочных цехах ([рис. 39](#)), являются: ножницы с параллельными ножами, ножницы с

наклонными ножами (гильотинные), дисковые и вибрационные ножницы. Первый тип ножниц используется для резки узких и толстых полос и неметаллов. Метод резки на ножницах с наклонными ножами (гильотинных) является наиболее распространенным для резки металлических листов. Для резки рулонного металла и обрезки кромок лент применяют дисковые ножницы. Вибрационные ножницы используют значительнее реже для получения штучных заготовок криволинейной формы.

Основными операциями резания металла штампами являются вырубка и пробивка, при этом данные процессы можно представить в виде отделения одной части заготовки от другой по замкнутому контуру с помощью пуансона и матрицы (рис. 40). При вырубке часть заготовки, которая остается на матрице, является отходом, а при пробивке та же часть заготовки является деталью. Так же, как и при резке ножницами, процесс резки состоит из трех стадий: упругой, пластической и скалывания. При этом последовательно происходит упругий изгиб с вдавливанием по кольцевому пояску со стороны матрицы и пуансона, возникновение изгибающего момента (выпучивание) и образование трещин со стороны матрицы и пуансона.

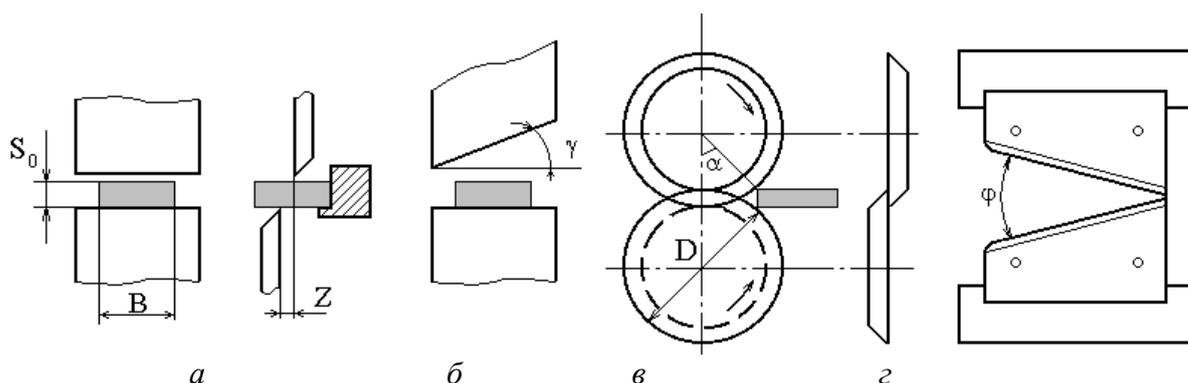


Рис. 39. Схемы резки листового металла с помощью ножниц: а – ножницы с параллельными ножами; б – гильотинные ножницы; в – дисковые ножницы; г – вибрационные ножницы

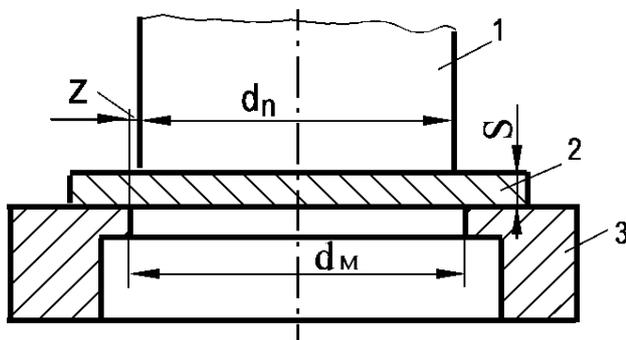


Рис. 40. Схема вырубке в вырубном штампе: 1 – пуансон; 2 – заготовка; 3 – матрица

Большое влияние на деформацию металла и энергосиловые параметры оказывает выбор зазора z . При оптимальном зазоре $z = (5-10\%) \cdot S$ поверхности сдвига и трещины со стороны пуансона совпадают с соответствующими

трещинами со стороны матрицы. При малом зазоре и большой толщине металла от несовпадения трещин образуется кольцевая перемычка, которая перерезается с возникновением новых скалывающих трещин и на детали образуются дефекты: надрыв и двойной срез с протянутым заусенцем.

Разделительные операции применяются для раскроя листовых материалов, под которым понимают принятое расположение штампуемых деталей (заготовок) на листе, полосе или ленте. При этом раскрой должен обеспечивать минимальный расход металла, простоту конструирования штампа и высокую производительность. При резке листа различают поперечный, продольный и комбинированный виды раскроя, при резке полос – раскрой с отходами с частичными отходами и безотходный виды раскроя. Потери при раскрое зависят от геометрической формы детали, неkratности листового материала, величины перемычек (межконтурных и внешних) и припусков на обрезку. Выделяют также различные виды раскроя: многорядный, наклонный, встречный, и др. Выбор варианта раскроя позволяет оптимизировать процесс и получить наиболее высокий коэффициент использования металла, который в общем случае определяется как отношение суммарной площади готовых деталей к площади заготовки.

Гибка – это технологическая операция листовой штамповки, в результате которой из плоской заготовки при помощи штампов получают изогнутую пространственную деталь (рис. 41). Различают одноугловую, двухугловую и многоугловую гибку. В процессе гибки слои (волокна) металла, расположенные у внутренней поверхности испытывают сжатие в продольном направлении и растяжение в поперечном, а слои, расположенные у внешней поверхности, – растяжение в продольном направлении и сжатие в поперечном. Типовым дефектом является разрыв растянутых волокон на угле гибки при больших степенях деформации.

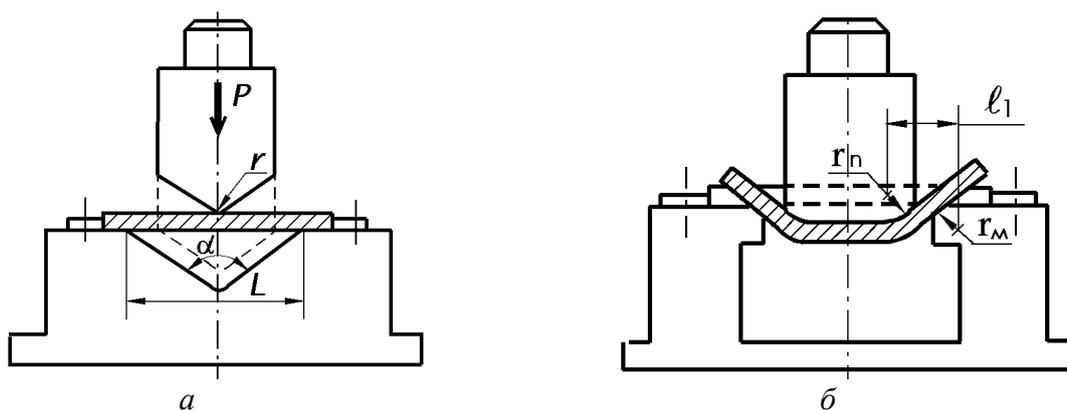


Рис. 41. Схема одноугловой (а) и двухугловой (б) гибки

Последовательность процесса одноугловой гибки включает 3 стадии: упругого изгиба, упруго-пластического изгиба и калибровки. При этом происходит постепенное уменьшение радиуса кривизны и плеча изгиба.

При проведении гибочных операций необходимо всегда учитывать наличие упругих деформаций материала, вследствие которых форма изделия после гибки отличается от формы штампа. Для получения заданного угла и радиуса после второй стадии гибки необходимо угол и радиус на штампе (на пуансоне) уменьшать на величину пружинения.

Вытяжка – это технологическая операция ЛШ, заключающаяся в превращении плоской или полый заготовки в открытое сверху полое изделие замкнутого контура. По геометрической форме получаемых деталей выделяют вытяжку изделий осесимметричной, коробчатой и сложной несимметричной формы. Кроме того, различают вытяжку с прижимом и без прижима, а также с утонением и без утонения стенок.

Вытяжкой, таким образом, получают детали различных конфигураций в плане и профилей в осевом сечении. Различают первый переход вытяжки, превращающий плоскую заготовку в пространственную деталь или полуфабрикат, и последующие переходы, в которых происходит дальнейшее формоизменение полого полуфабриката, т. е. увеличение его высоты при одновременном уменьшении поперечного сечения.

Схема вытяжки без прижима приведена на [рис. 42](#). Последовательность формоизменения следующая. Пуансон, воздействуя на центральную часть заготовки ([рис. 42, а](#)), вызывает ее прогиб за счет создания изгибающего момента со стороны матрицы и пуансона. Дальнейшее опускание пуансона приводит к появлению радиальных растягивающих напряжений, достаточных для перевода фланцевой части заготовки в пластическое состояние. С этого момента начинается втягивание заготовки в матрицу с образованием боковых поверхностей вытягиваемого изделия при одновременном уменьшении диаметра заготовки. Действие радиальных растягивающих напряжений σ_r приводит к тому, что во фланце в тангенциальном (широтном) направлении возникают сжимающие напряжения σ_θ . Совместное действие этих напряжений обеспечивает втягивание фланца в отверстие матрицы и получение изделия ([рис. 42, б](#)).

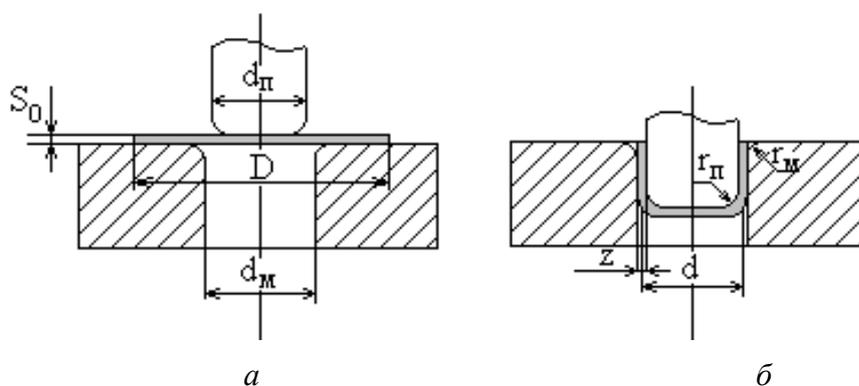


Рис. 42. Схема вытяжки: а – до деформации; б – после деформации

За одну операцию вытяжки можно получить одну неглубокую деталь, так как при больших степенях вытяжки в опасных зонах (переход от фланца

к стенке и от стенки к дну) величина радиальных растягивающих напряжений σ_r может превышать максимальную $\sigma_{r_{max}}$, что приведет к отрыву фланца или дна от стенки детали.

Оценить величину деформации при вытяжке можно с помощью геометрического коэффициента вытяжки m_a :

$$m_a = \frac{d}{D}.$$

В зависимости от соотношения высоты и диаметра вытягиваемой детали, а также относительной толщины заготовки $A = (S / D) \cdot 100 \%$ вытяжка может быть выполнена за одну или несколько операций. Необходимо, чтобы вытяжка была произведена за наименьшее количество операций без применения промежуточного отжига. Поэтому при расчетах используют минимально допустимый коэффициент вытяжки m_{min} , величина которого зависит от номера перехода, относительной толщины и материала заготовки и др.

При расчете размеров заготовки для многопереходной вытяжки осесимметричных деталей используют условие, в соответствии с которым суммарный коэффициент вытяжки равен произведению частных коэффициентов за переход:

$$m_{\Sigma} = m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \cdot \dots \cdot m_n.$$

А для определения возможности вытяжки на i -том переходе необходимо выполнения условия

$$m_{a_i} \geq m_{min_i}.$$

К операциям *формовки* относят рельефную формовку, отбортовку, раздачу, обжим и чеканку.

Рельефная формовка – это операция листовой штамповки, которая служит для получения выпукло-вогнутого рельефа за счет местных локальных деформаций растяжений. Таким способом получают рисунки, ребра жесткости, которые увеличивают общую жесткость детали на 100–200 %, снижают пружинение (повышение точности), позволяют уменьшить требуемую толщину металла.

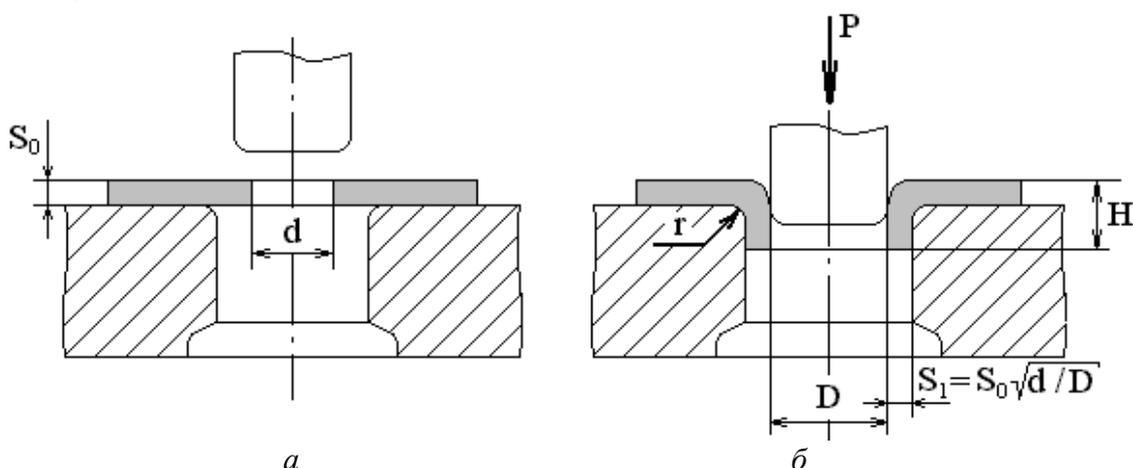


Рис. 43. Схема отбортовки отверстий: а – до деформации; б – после деформации

Процесс *отбортовки* отверстий (рис. 43) заключается в образовании в плоском или полом изделии с предварительно пробитым (просверленным) отверстием отверстия большего размера с цилиндрическими бортами или бортами другой формы.

Характеристикой деформации при отбортовке служит коэффициент отбортовки K_0 , определяемый как отношение диаметра предварительно пробитого отверстия d_0 к диаметру отбортованного отверстия D . Типовым дефектом при отбортовке считается появление трещин на краю борта.

Раздача (растяжка) – это операция листовой формовки, предназначенная для увеличения краевой части полой цилиндрической заготовки (рис. 44, а). К разновидностям данной операции относятся раздача коническим пуансоном, раздача резиновым пуансоном и раздача с помощью жидкости (гидравлическая).

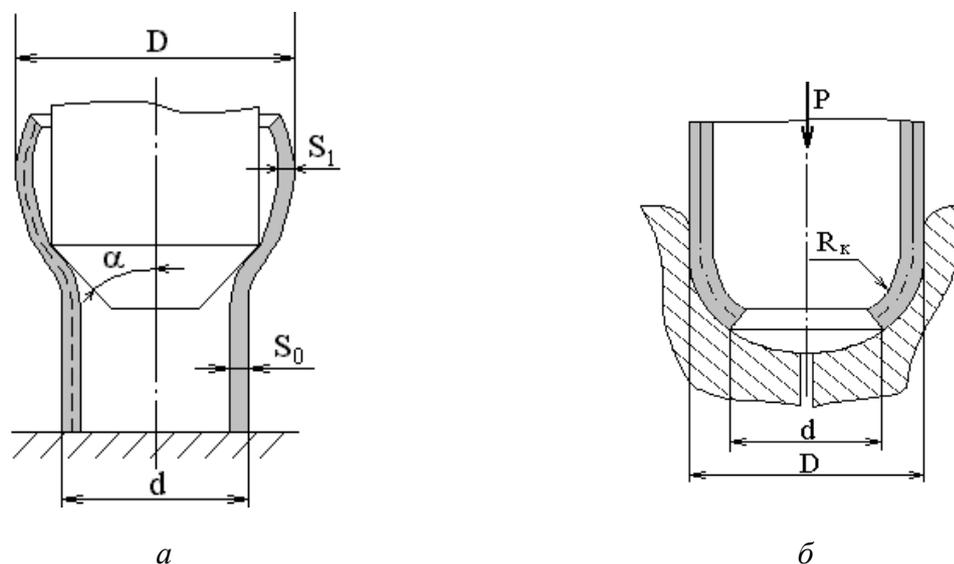


Рис. 44. Схемы раздачи (а) и обжима (б)

Обжим (обжимка) – это операция листовой формовки, предназначенная для уменьшения поперечных размеров краевой части полых цилиндрических деталей (рис. 44, б). Применяется для изготовления деталей типа горловин и патронных гильз и проводится, как правило, с применением смазок. В качестве разновидностей операции можно выделить обжим трубчатых сечений (редуцирование на ротационно-обжимных машинах) и обжим полых деталей, производимый вертикальным давлением на механических прессах.

Чеканка предназначена для получения рельефного рисунка на листовой заготовке и, в основном, используется для изделий художественного назначения. Для деформации применяются специальные чеканочные прессы.

Контрольные вопросы

1. Чем определяется экономическая и технологическая целесообразность применения операцийковки?

2. Каковы допустимые температурные интервалыковки для сталей?
3. Какие виды оборудования применяются дляковки?
4. Какие операцииковки можно отнести к основным?
5. Каковы дефекты стальных кузнечных слитков?
6. Как производится биллетировка слитков?
7. Какой из способов резки заготовок является наиболее производительным в кузнечно-штамповочных цехах?
8. Каковы основные этапы разработки технологического процессаковки?
9. С какой целью проводится осадка заготовок?
10. Какой инструмент применяется при протяжке поковок различной формы?
11. В чем заключается принципиальное отличиековки от объемной штамповки?
12. Из каких основных элементов состоит штамп?
13. В чем различие горячей и холодной объемной штамповки?
14. Каковы операции холодной объемной штамповки?
15. Почему многоручьевая штамповка не применяется при штамповке на КГШП?
16. Для чего применяется вальцовка?
17. Какая из операций применяется при штамповке на ГКМ?
18. Для чего необходим заусенец (облой) при штамповке в открытых штампах?
19. Каковы недостатки процесса штамповки в закрытых штампах?
20. Перечислите разновидности штамповки выдавливанием и каково их назначение?
21. Каковы достоинства листовой штамповки?
22. Каковы из операций относятся к листоштамповочным разделительным, а какие к формоизменяющим?
23. Какой из видов поперечной резки листового металла на ножницах является наиболее распространенным?
24. В зависимости от каких параметров выбирается зазор при вырубке листовых материалов?
25. Каковы виды раскроя листов?
26. Каковы стадии формоизменения при одноугловой гибке металлических заготовок из листовых материалов?
27. Какое условие должно выполняться для того, чтобы осуществить вытяжку за один переход?
28. Каким образом рассчитывается коэффициент вытяжки?
29. В чем заключаются особенности расчета процесса вытяжки в несколько переходов?
30. Каковы операции формовки листовых материалов?

3. СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ПРОЦЕССЫ ОМД

3.1. Метизное производство

Лекция 13

(ауд. занятия – 2 ч, самостоят. работа – 2 ч).

Общие сведения о технологии изготовления метизов. Схема высадки как основная технологическая операция при производстве метизов. Изготовление шурупов, винтов, гаек, гвоздей. Оборудование для производства метизов.

Метизами называют холодноштампованные изделия, получаемые операцией высадки, имеющие характерную форму (стержень с утолщением).

К ним относят болты, гайки, гвозди, заклепки, шурупы и т. д. Так как потребность в них достаточно велика, то для производства используются холодновысадочные автоматы, в технической характеристике которых основным параметром является наибольший диаметр круглой заготовки (пруток, проволока), который не превышет 25–30 мм.

Основной операцией при производстве изделий, имеющих стержневую часть и головку (к которым и относятся метизы), является высадка. Высадка – это операция осадки заготовки на части ее длины.

При высадке применяются различные типы ручьев: наборные, формовочные, гибочные, отрезные и др. Основным условием высадки сплошного стержня является $H/d < 2,5$, из которого выбирается длина высаживаемой части. Схема высадки показана на [рис. 45](#).

Холодновысадочные автоматы классифицируются по назначению: гвоздильные, гайковысадочные, болтовывсадочные а также по количеству переходов, необходимых для высадки: одно-, двух-, трехударные и многопозиционные. В одноударном автомате высадка изделия происходит за один ход ползуна, соответственно, для двухударного – за два. Многопозиционные автоматы характеризуются тем, что изделие изготавливается за несколько переходов при одном ходе ползуна. К последним относятся, например, гайковысадочные для холодной высадки гаек размером до М27. В болтовывсадочных автоматах реализуются такие технологические операции, как высадка цилиндрической головки болта (за 2 удара), обрезка 6 граней, подрезка торца и накатка резьбы.

В кинематической схеме одноударного холодновысадочного автомата ([рис. 45](#)) основным механизмом является кривошипно-шатунный механизм, который позволяет осуществить возвратно-поступательное движение заготовки в горизонтальной плоскости. При этом проволока 1 из бунта механизмом 3 роликовой подачи перемещается в отрезную матрицу 2 до регулируемого упора 4. Приводным ножом 5 производится отрезка заготовки на заданную длину, затем она перемещается на линию высадки и высадочным пуансоном 6

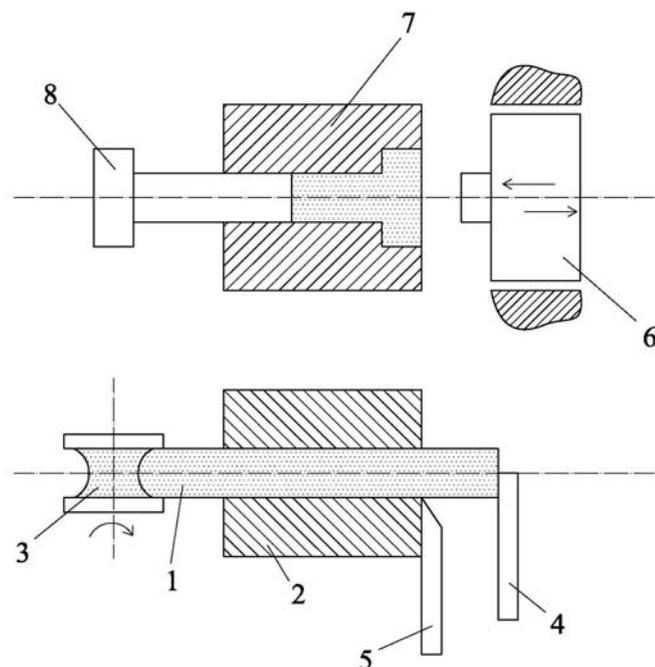


Рис. 45. Схема высадки на холодновысадочном автомате: 1 – заготовка; 2 –отрезная матрица; 3 – роликовая подача; 4 – регулируемый упор; 5 – отрезной нож; 6 – высадочный пуансон; 7 – высадочная матрица; 8 – ползун

заталкивается в высадочную матрицу 7. Далее происходит высадка и при обратном ходе ползуна 8 изделие выталкивается из матрицы и цикл повторяется снова.

3.2. Производство гнутых профилей

Лекция 14

(ауд. занятия – 2 ч, самостоят. работа – 2 ч).

Общие понятия о гнутых профилях. Способы получения и калибровка валков для изготовления гнутых профилей. Оборудование, применяемое для изготовления гнутых профилей. Типовая технологическая схема получения панелей из гнутых профилей.

Гнутые профили – это один из высокоэкономичных видов металлопроката, изготавливаемый методом профилирования листов, полос и лент на профилегибочных агрегатах.

Процесс профилирования заключается в последовательной подгибке (рис. 46) и формовке листовой стали до требуемой конфигурации готового профиля в фасонных калибрах валков профилегибочного стана. Гнутые профили проката можно изготавливать самой разнообразной конфигурации поперечного сечения, в том числе и замкнутой и полузамкнутой форм, из цветных металлов и сплавов, углеродистой, низкоуглеродистой и легированной сталей шириной заготовки до 2000 мм, толщиной до 8–20 мм и длиной до 12 м.

Форма гнутых профилей может быть самая разнообразная (рис. 47), причем изготавливают профили с просечкой, с перфорацией, с ребрами жесткости, сварные, покрытые пластиком и др.

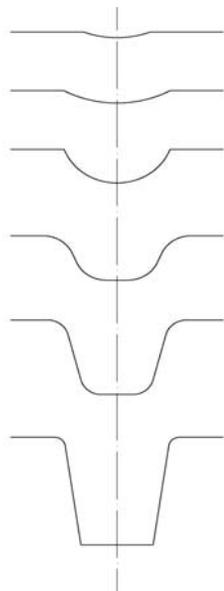


Рис. 46. Схема формовки профиля

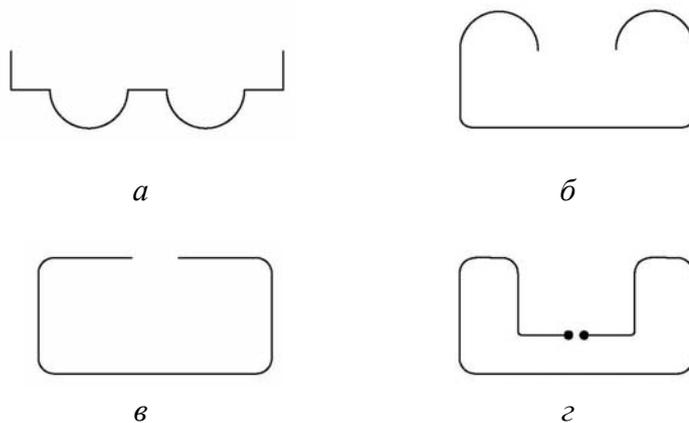


Рис. 47. Форма гнутых профилей: а – открытые профили; б – полузамкнутые; в – замкнутые; г – сварные

По видам выделяют профили общего назначения (88 %), профилированный оцинкованный настил (11 %), сварные замкнутые профили (0,6 %), перфорированные профили (0,4 %).

Потребление по отраслям таково:

- строительство (26,6 %);
- автомобилестроение (25,9 %);
- тяжелое и транспортное машиностроение (18,3 %);
- сельхозмашиностроение (17,4 %);
- другие (11,8 %).

К преимуществам производства гнутых профилей относятся следующие:

1. Возможность получения фасонных профилей с наиболее рациональным распределением металла по сечению, высоким качеством поверхности при максимальной прочности (прочность увеличивается за счет наклепа на 10–15 %) и жесткости и минимальном расходе металла.
2. Возможность создания новых типов конструкций.
3. Замена обычных профилей на гнутые, при этом устраняются затраты на механическую обработку и другие потери; КИМ при профилировании составляет в среднем 99,7 % и брак бывает в 3–5 раз меньше, чем при сортовой горячей прокатке.

Оборудование для получения гнутых профилей классифицируется по назначению (общего назначения и специальные) и способу профилирования:

- с непрерывным процессом профилирования;
- с поштучным процессом профилирования;

– с комбинированным процессом профилирования (непрерывным и поштучным);

– с порулонным процессом профилирования.

На профилегибочных агрегатах с непрерывным процессом профилирования используется заготовка в виде «бесконечной полосы», образованная сваркой рулонов, при этом заготовка в процессе деформации находится одновременно во всех клетях стана, а на мерные длины разрезается готовый профиль. Для профилегибочных агрегатов с поштучной обработкой характерно профилирование отдельных полос, имеющих длину готового профиля. При этом возрастает скорость обработки (до 180 м/мин), упрощается конструкция режущих устройств, отсутствует оборудование для стыковой сварки, гратосниматели, петлеобразователи и другие, однако режимы формовки менее интенсивны, увеличивается число технологических переходов, трудоемкость процесса и энергозатраты. Недостатки и тех и других агрегатов устраняются при использовании агрегатов 3-й группы, однако их целесообразно применять при наличии в сортаменте замкнутых (не сварных) и полузамкнутых профилей несложной формы сечения с толщиной более 5 мм. В агрегатах с порулонным процессом профилирования технология непрерывного процесса сохраняется, при этом для резки готового профиля используются летучие ножницы. Эти агрегаты экономичны при производстве профилей с малыми толщинами и большой шириной.

Типовой агрегат с непрерывным процессом профилирования состоит из следующих элементов: загрузочной тележки, предназначенной для установки на ось барабана разматывателя; самого разматывателя; правильной машины; ножниц с верхним резом для поперечной обрезки переднего и задних концов; стыкосварочной машины с гратоснимателем режцового типа; петлеобразователя для создания запаса полосы, необходимого для обеспечения непрерывного режима работы; еще одной правильной машины для задачи переднего конца полосы в профилегибочный стан на запровадочной скорости (0,5 м/с); холостого рольганга; промасливающей машины для нанесения смазки на заготовки; формовочного стана, состоящего из 14 основных и 3 дополнительных формовочных клеток (диаметр вала валков 115 мм, высота формовки 120 мм, скорость профилирования 0,5–2,5 м/с), между которыми имеются вертикальные направляющие ролики; правильно-калибровочных клеток, которые выправляют профиль, скрученный вдоль оси прокатки; летучих ножниц, предназначенных для резки в потоке на мерные длины профилей открытого типа; летучей пилы, предназначенной для резки закрытых профилей; установки для пневматического удаления (сдува) эмульсии; участка контроля качества профилей; промасливающей машины для готовых профилей; цепного шлеппера, предназначенного для уборки с рольганга профилей, набора их в ряд и передачи на рольганг кантователя; кантователя, предназначенного для поворота на 180° ряда профилей; скребкового рольганга с толкателем для укладки пакета на укладчик; укладчика, состоящий из подъемного стола, передвижного упора, механизмов вертикального и гори-

зонтального перемещений и опорной тележки (наибольшая масса пакета – 5 т, длина пакета составляет от 3 до 12 м, высота – 800 мм).

Различают следующие схемы формовки:

- изгиб с растяжением, который применяют для пластичных материалов (относительное удлинение больше 18 %);
- изгиб со сжатием, который применяют для профилей с внутренними радиусами кривизны в местах изгиба, равными или близкими к толщине металла из малопластичных сплавов;
- изгиб с обжатием мест изгиба по толщине для увеличения плотности соприкосновения элементов двойной толщины при подгибке на углы 180°.

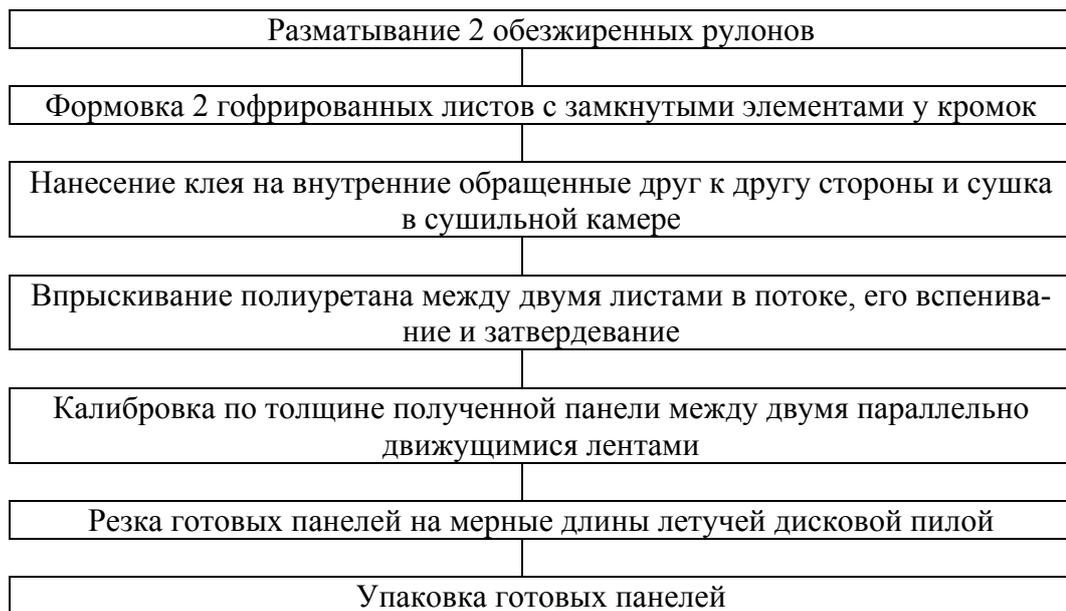


Рис. 48. Технологическая схема производства трехслойных панелей для строительства с полиуретановой прослойкой

Типовая технологическая производства трехслойных панелей с полиуретановой прослойкой представлена на [рис. 48](#).

Система калибровки при формовке должна обеспечивать точную форму и размеры сечения, а также чистую поверхность готового профиля, такое распределение углов подгибки по проходам, которое соответствовало бы минимальному утонению без образования трещин и минимальное натяжение полосы между клетями и высокую жесткость готового изделия.

3.3. Совмещенные процессы производства металлоизделий

Лекция 15

(ауд. занятия – 2 ч, самостоят. работа – 2 ч).

Общие сведения о совмещенных процессах обработки металлов и сплавов. Перспективы развития. Классификация совмещенных процессов. Ком-

бинирование операций обработки металлов давлением, примеры комбинированных процессов. Способы и устройства для совмещенной прокатки и прессования цветных металлов и сплавов.

В области производства изделий из цветных металлов и сплавов можно выделить простые и сложные (интегральные) процессы обработки. Под простыми процессами понимают такие, которые включают один цикл обработки металла в одном очаге деформации (литья) без смены направления течения металла или приложения нагрузки. Интегральные процессы включают несколько воздействий (операций) в одном очаге деформации либо комбинацию их со сменой направления перемещения металла. Для классификации многообразия операций обработки цветных металлов и сплавов следует рассмотреть, каким образом при взаимодействии простых процессов образуется новый интегральный процесс, обладающий уже новым комплексом свойств и, как правило, исключающий недостатки совмещаемых (комбинируемых).

Базовым процессом назовем такой, при котором во время приложения нагрузки внешнее распределение силы и ее направление на поверхности очага пластической деформации (кристаллизации) не изменяется. Основными базовыми процессами для обработки металлов являются литье, прокатка, прессование, волочение, осадка, кручение, а также компактирование и термообработка.

Тогда комбинированным процессом обработки будем считать комбинацию двух и более базовых процессов, при котором происходит интегральное наложение нагрузок в одном очаге деформации, иногда и со сменой направления течения металла. Типовым примером такого комбинированного процесса можно считать, например, прокатку-волочение, когда прокатка ведется с натяжением конца полосы. При этом в зависимости от величины натяжения прокатка-волочение ([рис. 49, а](#)) может в предельном случае превращаться в волочение-прокатку ([рис. 49, б](#)), когда удельный вес процесса вытягивания превалирует над процессом обжатия в валках.

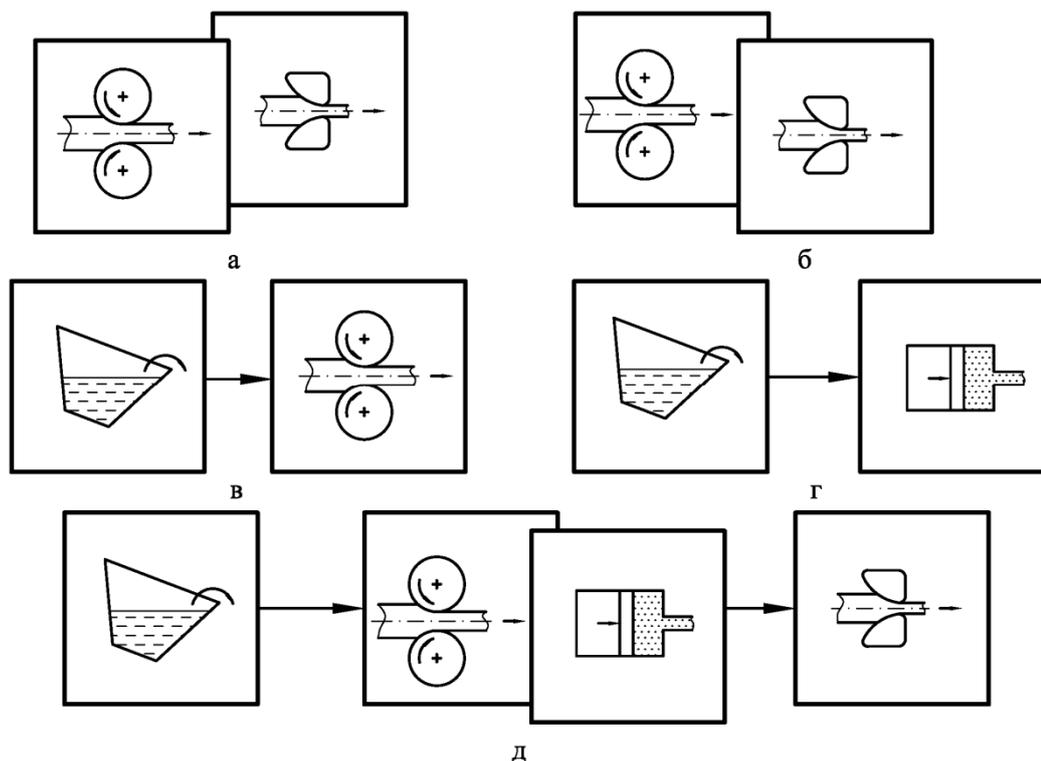


Рис. 49. Схемы комбинированных (а, б), совмещенных (в, г) и совмещенно-комбинированных (д) процессов обработки металлов

Совмещенный процесс является более сложным и характеризуется разделением базовых процессов во времени или пространстве. Такими типовыми процессами считаются литье и прокатка (рис. 49, в), когда заготовку получают с помощью кристаллизатора, а затем прокатывают на непрерывном стане, или литье и прессование, когда ее подвергают непрерывному экструдированию. Возможна также схема бесслитковой обработки металла. В данном случае процессы обработки металла выстраиваются последовательно и только после окончания одного из них начинается следующий. В качестве таких процессов выделяют, например, совмещенный процесс литья, прокатки, фрезеровки и отжига ленты и считают, что именно с применением таких процессов можно добиться радикального повышения экономичности производства и качества продукции.

В последние годы имеется тенденция в создании совмещенно-комбинированных процессов, когда на каждом последовательном этапе обработки может применяться комбинированный процесс. Примером реализации такого процесса может быть процесс, когда на одной установке осуществляются одновременно операции литья-кристаллизации, прокатки-прессования, охлаждения и смотки готовых пресс-изделий в бухту с калибровкой готового изделия на заданный диаметр (рис. 49, д).

Таким образом, с использованием предлагаемого представления можно достаточно просто и точно классифицировать интегральные процессы по обработке цветных металлов и сплавов, которые в настоящее время все более

усложняются, становясь многофункциональными и непрерывными. При этом на привычные сочетания операций обработки металлов могут накладываться особые виды обработки, например, такие как магнито-импульсная, вибрационная, термо-механическая и др.

Схема классификации таких процессов обработки цветных металлов и сплавов показана на [рис. 50](#). Она позволяет учитывать особенности реализации конкретных технологических схем. Следует отметить, что в данной схеме приведены лишь некоторые виды обработки, которые в настоящее время находят практическое применение и являются, на наш взгляд, наиболее перспективными. При этом она может быть дополнена и усовершенствована при появлении новых разновидностей таких процессов.

Таким образом, одной из основных тенденций развития процессов обработки цветных металлов и сплавов является совмещение операций литья и обработки металлов давлением, а также комбинирование в одном очаге деформации нескольких схем нагружения металла.

Наибольший интерес представляют конструкции устройств на базе процессов совмещения прокатки и прессования, характеризующиеся небольшими энергозатратами, простотой конструкции деформирующего узла и разнообразием сортамента получаемой продукции. Предложенные новые технические решения позволяют сделать процесс прокатки-прессования более устойчивым и сохранить все его вышеуказанные преимущества.

Предложенные конструкции по сортаменту производимой продукции и назначению можно разделить на три основные группы: устройства для производства профилей и проволоки; устройства для получения труб; универсальные устройства, позволяющие изготавливать профили, трубы, прутки и проволоку.

Устройства, показанные на [рис. 51, а](#), относятся к первой группе и позволяют получать пресс-изделия преимущественно из алюминиевых и медных сплавов. Основным техническим решением, характерным для первого устройства, является значительное увеличение активных сил трения за счет применения закрытого балочного калибра с глубоким врезом закрытого ручья в валок. Это значительно повышает устойчивость процесса, однако сложная форма калибра требует точного изготовления матрицы и контролируемого усилия прижима последней к валкам.

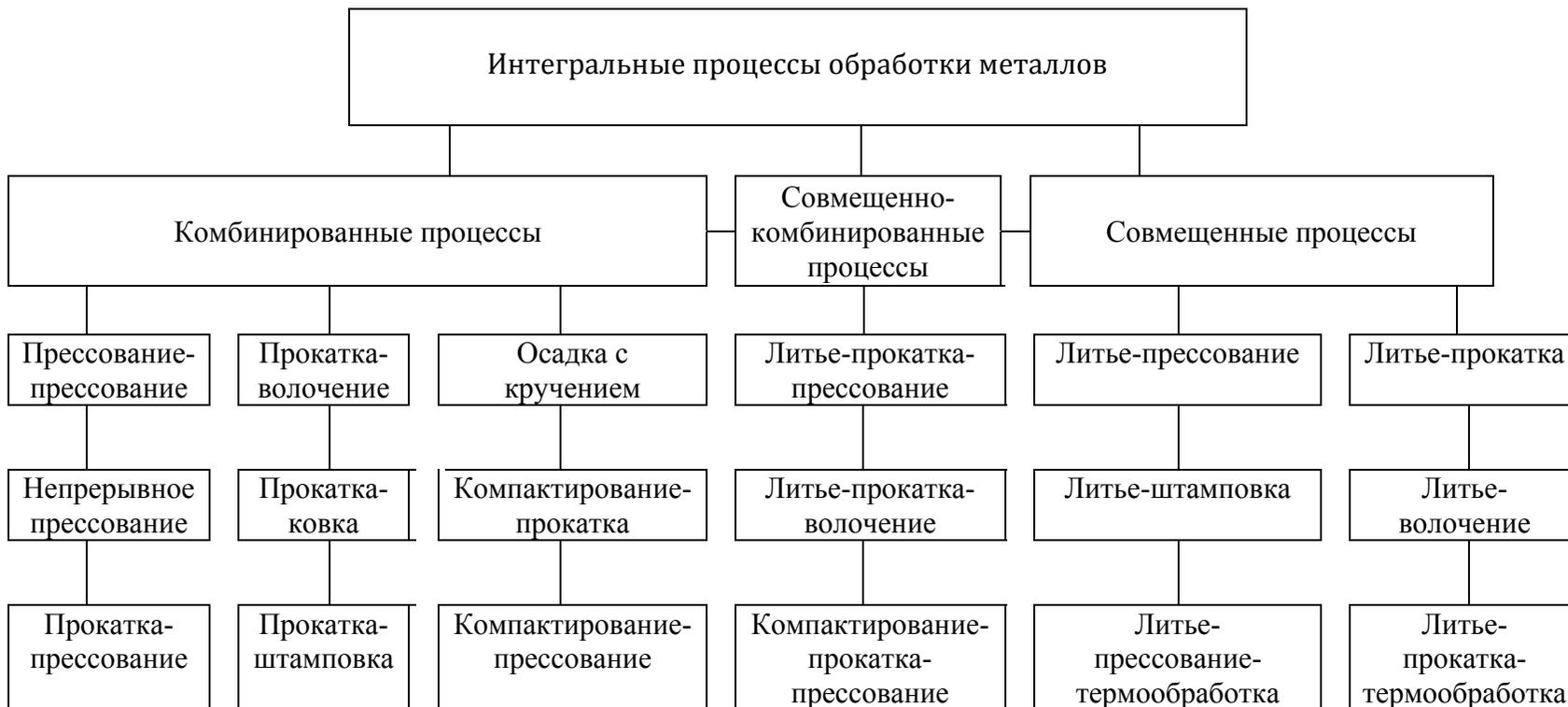


Рис. 50. Классификация интегральных процессов обработки металлов

С целью усовершенствования данного устройства предложена схема, показанная на [рис. 51, б](#), с применением ящичного калибра прямоугольного сечения с заданным отношением диаметров по гребню и выступу валков фиксированной величины удаления матрицы от общей вертикальной оси валков и возможностью установки матрицы под определенным углом к этой оси.

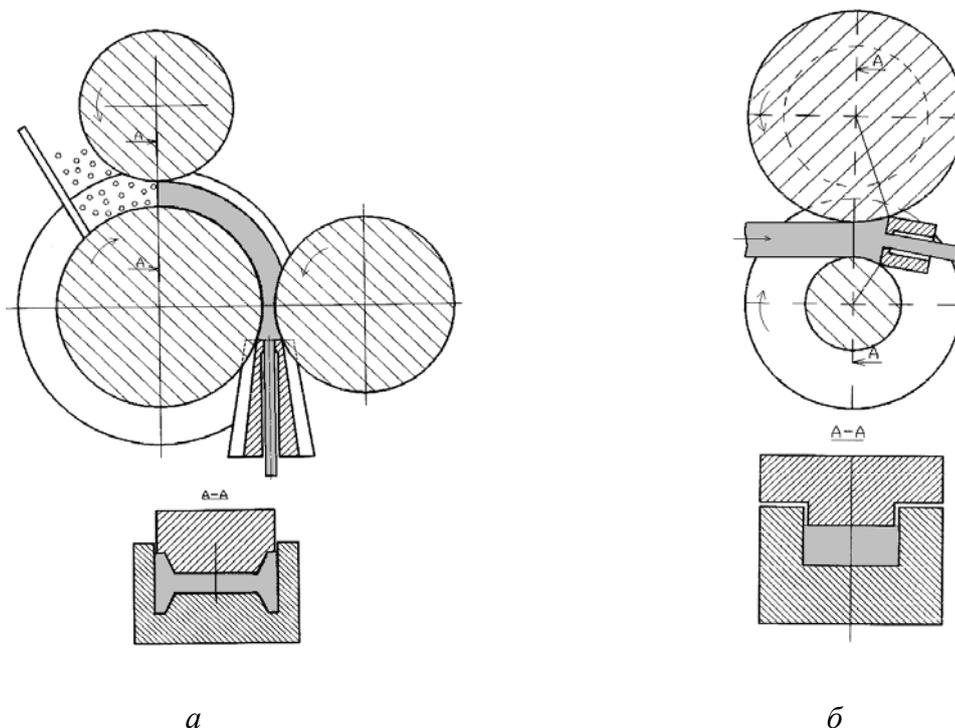


Рис. 51. Устройства для получения профилей и проволоки из цветных металлов и сплавов: *а* – из порошковых материалов; *б* – из литой заготовки

Для получения труб с помощью совмещенной прокатки-прессования разработаны две основные схемы, показанные на [рис. 52](#). По первому варианту устройство для получения сварных труб ([рис. 52, а](#)) преимущественно из алюминиевых сплавов включает два вала, образующих закрытый калибр с отношением диаметров по дну ручья и гребню выступа в диапазоне 0,6–1,0 и перекрытых на выходе из калибра матрицей, установленной на определенном расстоянии от плоскости, проходящей через оси валков.

Для получения пресс-изделий со сваркой применяют комбинированную матрицу. С целью повышения качества изделий на донной поверхности ручья и наружной поверхности гребня валков выполнены кольцевые канавки с параллельными стенками, причем эти поверхности выполнены с образующими, наклоненными к осям вращения соответствующих валков по острым углам, встречно обращенным для каждого из валков своими вершинами.

На матрице перед питающими каналами выполнены выступы, размещенные в образованном наружными и боковыми поверхностями выступающего гребня и ручья упомянутых валков пространстве, при этом наружные поверхности выступающего гребня валка и дна ручья в зоне их сопряжения с

боковыми поверхностями выступающего гребня и ручья расположены с возможностью контакта.

В процессе работы устройства заготовка поступает в кольцевые канавки валков, а затем подается в очаг деформации, рассекается на два потока и перед упорами затекает через питающие каналы в камеру сварки. В последней потоки металла свариваются и деформируются, выдавливаясь через матрицу с иглой в виде трубы.

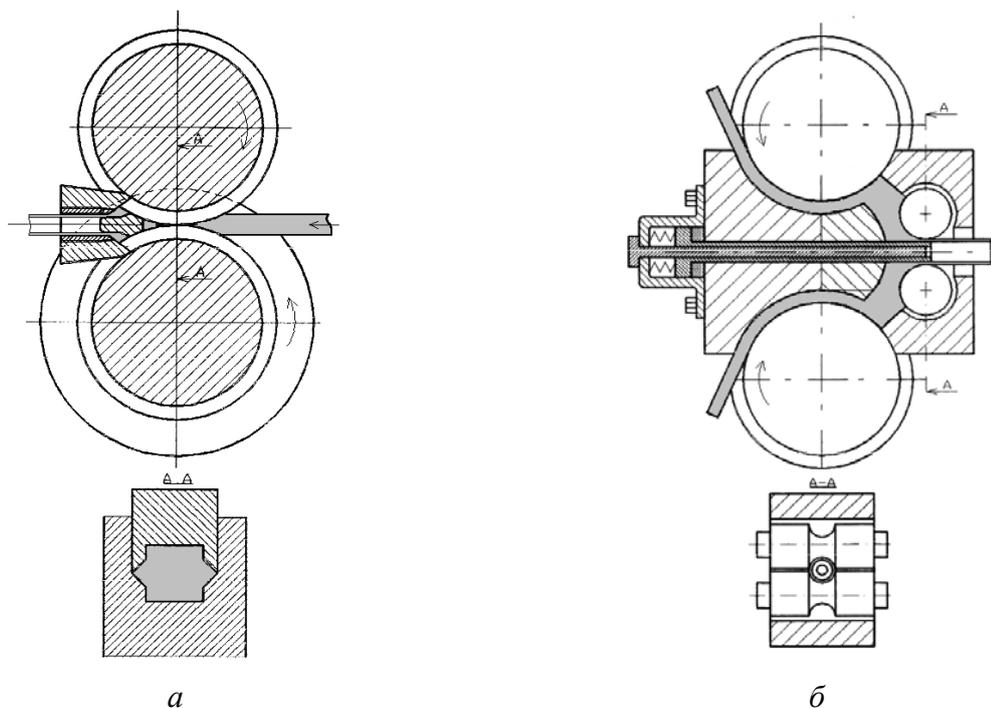


Рис. 52. Устройства для получения сварных труб (а) и длинномерных полых изделий (б)

Конструкция устройства по второму варианту, предназначенного для получения длинномерных изделий из алюминия (рис. 52, б), содержит два валька с каналами, матрицу, иглу, запирающий и упорный блоки. Матрица может быть выполнена в виде приводного валкового узла, а игла – телескопической, что позволяет получать трубы с изменяющейся толщиной стенки. Основным отличием от первого варианта является то, что прокатку ведут с использованием двух заготовок, задаваемых в калибр одновременно, а игла и матрица конструктивно разделены на отдельные узлы. Это дает возможность более гибкого построения технологического процесса и увеличения стойкости инструмента. В процессе работы две заготовки прямоугольного сечения одновременно задаются в калибр валков, где происходит их обжатие, продвижение до упоров, распрессовка с полным заполнением каналов и последующее поступление в камеру сварки. По мере поступления металла создается давление, необходимое для экструдирования изделия.

Устройство, относящееся к третьей группе (рис. 53), предусматривает прокатку-прессование двух исходных заготовок, продавливаемых активными силами трения до упоров в полость камеры сварки большего сечения, располо-

женной между валками, и дальнейшее экструдирование профиля через матрицу.

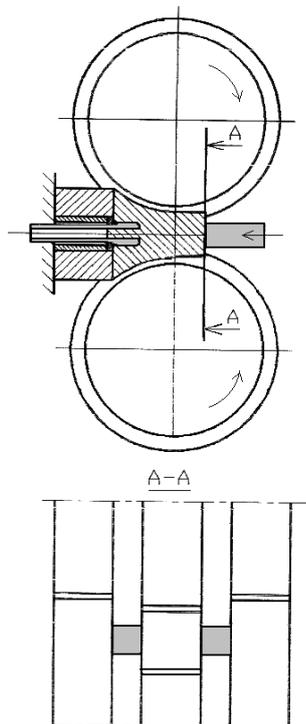


Рис. 53. Универсальное устройство для получения пресс-изделий различной формы

Устройство выполнено с закрытым калибром и матрицей, установленной на выходе из калибра, причем на дне ручья и обращенной к нему поверхности выступа выполнены кольцевые канавки, а в матрицедержателе перед матрицей расположена камера сварки. Устройство снабжено иглой, ее держателем, установленным в кольцевых канавках, образующим со стенками калибра два канала для подачи заготовок, сообщающиеся с камерой сварки, и выполненным с поверхностями, концентричными одна дну ручья и другая – поверхности выступа, обращенными к ним соответственно и расположенными с возможностью контактирования с ними. Кроме того, предусмотрены упоры, расположенные перед входом в камеру сварки и частично перекрывающие каналы для подачи

заготовок. Данная конструкция позволяет получать профили сравнительно большого поперечного сечения, а также трубы после переналадки инструментального узла с установкой иглы.

Лекция 16

(ауд. занятия – 2 ч, самостоят. работа – 2 ч).

Совмещение процессов литья и обработки металлов давлением. Производство изделий методом совмещенного литья и прокатки, литейно-прокатные агрегаты. Методы непрерывного литья и прессования. Способы совмещенного литья, прокатки и прессования (СЛИПП). Устройства для реализации процесса СЛИПП.

Процессы непрерывного литья появились в середине девятнадцатого века, при этом начали формироваться наиболее общие, традиционные способы непрерывных процессов, совмещающих плавку, литьё и дальнейшую обработку металлов давлением или резанием. Одним из первых совмещенных способов считается процесс введения непрерывно отлитой заготовки в нагретом состоянии в прокатный стан, где значительно уменьшалось её попе-

речное сечение, и сама заготовка соответствующим образом профилировалась. При этом создаётся возможность в течение длительного времени вести обработку горячего металла, в связи с чем можно применять большие обжатия за один проход, а меньшая скорость прокатки компенсируется более интенсивной деформацией. С развитием производства в последующие годы появилась возможность увеличивать скорость литья и использовать в совмещённых процессах не только прокатные станы различных конструкций, но и установки непрерывного прессования.

На основе традиционных способов ведения непрерывных процессов были созданы мощные технологические линии, совмещающие плавку, литьё и прокатку, а оборудование для реализации совмещённого процесса названо литейно-прокатными агрегатами (ЛПА). Начиная с середины двадцатого века для осуществления совмещённых процессов плавки, литья, прокатки и других операций при производстве полуфабрикатов и готовых изделий из цветных металлов и их сплавов создаются мощные, высокосоввершенные и автоматизированные агрегаты на базе горизонтальных графитовых и металлических кристаллизаторов скольжения, роторных, ленточных и валковых кристаллизаторов. Уже к середине восьмидесятых годов использование этих агрегатов обеспечивало выпуск высококачественных катанки и ленты, объём которых значительно превысил потребности многих стран.

Все промышленные линии независимо от типа применяемого в них кристаллизатора имеют общую структуру, а их конструкционные различия определяются видом получаемого изделия, типом применяемых литейных машин, производительностью агрегатов в целом. Наиболее просты по конструкции горизонтальные кристаллизаторы скольжения и агрегаты на их основе. Особенностью непрерывного литья через такой кристаллизатор с графитовыми вставками является сравнительно низкая скорость движения отлитой заготовки.

Одним из методов решения проблемы совмещения процессов литья и прокатки является использование станов периодической прокатки, дающих возможность вводить в зону деформации заготовки с пониженной скоростью и обеспечивающих высокую степень обжатия за один проход. Однако при прокатке на таких станах не обеспечивается оптимального распределения деформаций, что в ряде случаев приводит к возникновению дефектов прокатываемого материала. Недостатком конструкции стана является соприкосновение рабочих валков с материалом при прокатке в обоих направлениях их движения. Считается, что способ литья через графитовый кристаллизатор будет непрерывно развиваться. Однако агрегатов для совмещённого литья и прокатки на основе установок этого типа не так уж много. И это обусловлено, прежде всего, более низким, чем в кристаллизаторах с подвижными стенками, скоростями литья.

Совмещение литья и прокатки в одной технологической линии предполагалось как необходимый последующий шаг при разработке способа литья в роторные кристаллизаторы, позволяющие вести процесс с высокими скоростями. Начало современной эпохе этих машин было положено работами

Проперци в Италии, который предложил оригинальную конструкцию подобного устройства и в 1948 г. построил первый агрегат для производства алюминиевой катанки, состоящей из роторной литейной машины и непрерывного прокатного стана. В начале шестидесятых годов производительность литейных машин «Проперци» фирмы «Континуус» была увеличена до четырёх тонн в час, установки стали рентабельными по сравнению с традиционными способами получения катанки и появились на рынке. На базе этих машин в США и в нашей стране были созданы литейно-прокатные агрегаты более совершенной конструкции, чем прототип. Так, американская фирма «Саутуайр» в сотрудничестве с рядом других фирм с середины шестидесятых годов стала выпускать агрегаты серии SCR.

Так, установка типа SCR-16, приобретённая японской фирмой «Нумазу коппа рифайнинг энд роллинг» в 1980 г., способна производить 45–50 т/ч катанки диаметром 8 мм и обеспечивать её выпуск до двухсот тысяч тонн в год. Обычно производительность агрегатов серии SCR составляет 25–30 т/ч. Литейное оборудование производится главным образом фирмой «Хазелетг стрип кастинг» (США), прокатное – фирмами «Крупп», «Демаг», «Альберт Манн» и другими.

Первые отечественные агрегаты по производству алюминиевой катанки были введены в эксплуатацию в 1961 г. На [рис. 54](#) показана схема ЛПА-АК8П конструкции ВНИИметмаш, применяемого для получения алюминиевой катанки со среднечасовой производительностью 8 т. Агрегат имеет в своем составе роторную литейную машину для получения заготовки трапециевидного сечения площадью 3300 мм² и прокатный стан с 12 чередующимися двухвалковыми рабочими клетями, расположенными в две группы. При прокатке используется калибровка овал–круг, а диаметр выпускаемой катанки колеблется от 9 до 19 мм. Суммарная установленная мощность электродвигателей составляет 1500 кВт.

Новейшие изобретения, относящиеся к агрегатам с роторными литейными машинами, направлены на повышение рентабельности производства, стойкости литейных лент, совершенствование системы охлаждения, конструкции деталей и узлов литейной машины и агрегатов в целом. В последние пятнадцать лет были построены промышленные литейные установки и агрегаты для совмещённого непрерывного литья и прокатки, относящиеся к способу литья в роторный кристаллизатор с вертикальной осью вращения. Институтом «Гипроцветметобработка» была разработана конструкция, а в 1972 г. был внедрён агрегат вначале для производства цинковой катанки, а затем катанки и из других материалов и сплавов методом совмещённого непрерывного литья в карусельный кристаллизатор и последующей прокатки производительностью до трёх тонн в час.

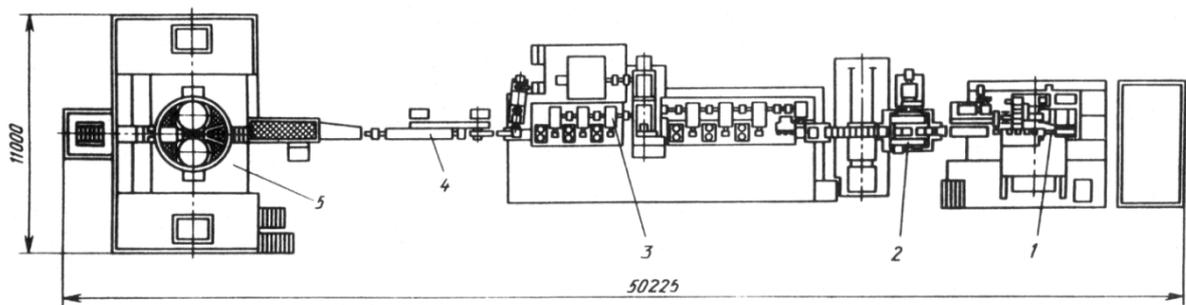


Рис. 54. Схема литейно-прокатного агрегата: 1 – литейная машина; 2 – линия транспортировки заготовки; 3 – прокатный стан; 4 – участок охлаждения катанки; 5 – моталка

Ещё в пятидесятых годах в СССР предпринимались успешные попытки совместить непрерывное литьё на траковых литейных машинах с прокаткой. Но более рентабельными оказался агрегат с траковым кристаллизатором по производству алюминиевых полос «Алюсюнсе» (Швейцария), установленный на заводе фирмы «Ляйхтметалл» в городе Эссен и получивший название «Кастер-2». Производительность агрегата составила двадцать тонн в час.

Для получения тонких полос и фольги методом совмещённого литья и прокатки используется способ непосредственного литья в валки прокатного стана, опробованный ещё в середине девятнадцатого века и названный бесслитковой прокаткой ленты. В нашей стране разработкой установок такого типа занимаются завод «Красный Выборжец» и ВНИИметмаш. В настоящее время в стране работают несколько агрегатов бесслитковой прокатки ленты на базе оборудования фирмы «Пешине» (Франция). За рубежом наиболее прогрессивными агрегатами с валковыми кристаллизаторами являются разработанные фирмой «Хантер инжиниринг» (США) установки «Суперкастер», а также установки «Джумбо-ЗС» фирмы «Пешине Южин Кульман» (Франция). Эти агрегаты имеют годовую производительность от 20 до 30 тыс. т.

Разнообразие способов непрерывного литья и видов кристаллизаторов привело к созданию во многих странах множества различного типа технологических линий, включающих непрерывные процессы, совмещающие плавку, литьё, прокатку и другие операции обработки металлов. В наши дни на их основе созданы мощности, обеспечивающие выпуск продукции, превысивший потребности многих стран. Современные разработки в этой области направлены на совершенствование конструкции узлов и агрегатов в целом, повышение рентабельности производства. Однако, как отмечает автор работы, недостатком в создании таких агрегатов в нашей стране является отсутствие систем автоматизации отдельных технологических процессов, приборов контроля, необходимых материалов и комплектующих изделий с высокими потребительскими свойствами. Кроме того, литейно-прокатные агрегаты занимают большие производственные площади, энерго- и металлоёмки, требуют значительного парка дорогостоящего валкового инструмента и не обладают технологическими возможностями получения профилей разной геометрической формы.

Процессы совмещения литья и прессования появились позже, в начале двадцатого века. Одним из таких процессов можно считать разработанный фирмой «Алформ аллойс» (Великобритания) на базе способа Конформ и карусельной литейной машины процесс Кастекс для получения высококачественных алюминиевых профилей. Наряду с хорошим качеством изделий процесс характеризуется высокими скоростями плавки.

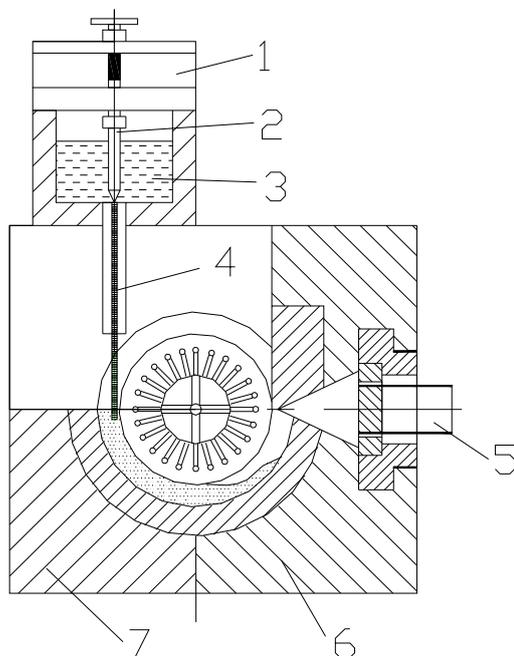


Рис. 55. Схема реализации процесса непрерывного литья – прессования способом Conform-Castex: 1 – заливочный ковш; 2 – регулятор уровня; 3 – жидкий металл; 4 – напорная трубка; 5 – пресс-изделие; 6 – прессовый башмак; 7 – башмак для затвердевания

Промышленная установка «Кастекс СЗООН» работает на заводе фирмы «Алформ аллойс» с 1986 г. Возможность значительного сокращения продолжительности технологического цикла, повышения качества получаемых изделий благоприятствует созданию новых современных и высокопроизводительных агрегатов, совмещающих плавку, непрерывное литьё и прессование. Кроме того, способ совмещенного литья и прессования позволяет значительно снизить капитальные затраты на проектирование и изготовление промышленной линии, существенно сократить энергозатраты на изготовление продукции, получить широкую гамму изделий из цветных металлов и сплавов, получить изделия со стабильными свойствами и качеством по всей длине. Принципиальная схема реализации этого процесса, приведена на [рис. 52](#).

Машина такой конструкции оснащена системой подачи жидкого металла и башмаком большего размера по сравнению с установками Конформ, который охватывает всю нижнюю половину колеса. Расплав из миксера через литейную насадку попадает в канавку охлаждающегося колеса машины. Быстрое охлаждение металла позволяет получить литую заготовку с незначительной ликвацией и мелким зерном, что дает высокую пластичность. По мере вращения колеса происходит накопление металла перед матрицей и его прессование. Этот способ и позволяет получать пресс-изделия с производительностью до 6 тонн в час. Стабильность его реализации во многом зависит

от эффективной работы системы непрерывной подачи расплавленного металла в ручей рабочего колеса.

Эта система должна отвечать следующим требованиям: расплавленный металл не затвердевает в начальной фазе процесса; скорость перемещения расплавленного металла постоянна и соответствует скорости его затвердевания, определяемой интенсивностью теплоотвода от рабочего колеса; в потоке расплавленного металла нет завихрений, иначе в его центральный слой могут попасть окислы, газовые пузыри и прочее, что приводит к дефектам пресс-изделий.

Активно развиваются процессы совмещенного литья и прессования в нашей стране. В работе даны основные положения и подходы к реализации процесса совмещенного литья и прессования, где базовым является метод непрерывного прессования Конформ. При этом выполнен комплекс теоретических и экспериментальных исследований, который позволил определить тепловые режимы обработки алюминиевых сплавов, установить геометрические параметры деформационной зоны, дать зависимости для расчета энерго-силовых параметров процесса.

Учеными Красноярского института цветных металлов предложена установка совмещенного литья и прессования на основе метода Конформ для получения прутка диаметром 6 мм из алюминиевых сплавов, при этом базовым оборудованием является литейная машина карусельного типа. Данное оборудование предназначено для производства профилей мелких сечений из расплавленной заготовки путем ее непрерывной кристаллизации и прессования через калибрующее отверстие матрицы.

Установка (рис. 56) состоит из приводного карусельного кристаллизатора 1, разливочного устройства 2, прямоугольной канавки 3, выполненной в кристаллизаторе и играющей роль изложницы, кольцевого сегмента 4, неподвижного относительно кристаллизатора, кольцевой вставки 5, выступа 6 и матрицы 7. Привод кристаллизатора осуществляется двигателем мощностью 90 кВт через червячный редуктор. Расплавленный металл через разливочное устройство, выполненное в виде прямоугольной емкости с отверстием в дне, подается в канавку движущегося колеса кристаллизатора.

По мере продвижения жидкого металла вместе с колесом к матрице, закрепленной в кольцевом сегменте, происходит его кристаллизация и охлаждение до заданной температуры, при которой металл выдавливается из камеры, образованной тремя сторонами канавки кристаллизатора и поверхностью кольцевой вставки, сопрягающейся с этой канавкой. Для предотвращения выхода металла из камеры по направлению движения канавки в сегменте имеется выступ, который перекрывает поперечное сечение канавки в конце участка ее сопряжения с кольцевой вставкой. Затвердевший в канавке металл достигает выступа в сегменте, после чего распрессовывается по всему сечению камеры. при этом силы трения металла с поверхностью движущейся канавки возрастают до величины, достаточной для его выдавливания через калибрующее отверстие матрицы.

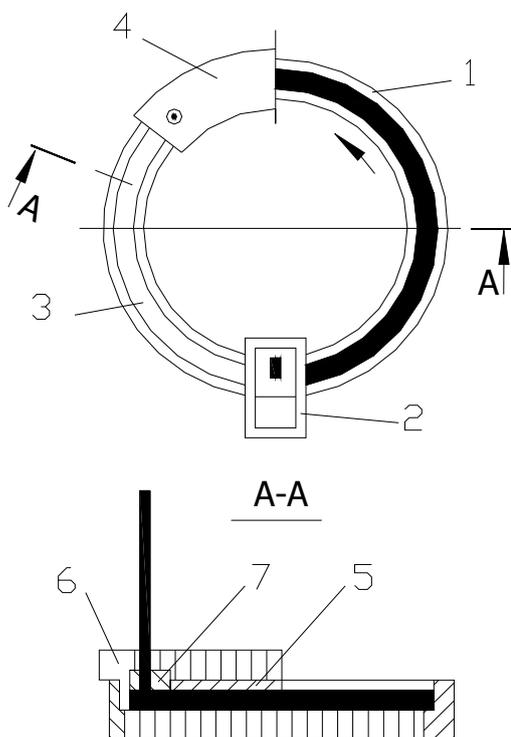


Рис. 56. Схема установки непрерывного литья и прессования: 1 – рабочее колесо (кристаллизатор); 2 – литниковая коробка; 3 – кольцевая канавка; 4 – неподвижная часть контейнера («башмак»); 5 – дугообразный выступ «башмака»; 6 – упор «башмака»; 7 – матрица для прессования

Процесс непрерывного литья и прессования, осуществляемый на данной установке, имеет следующие преимущества перед традиционными способами прессования: реализуется совмещение непрерывных процессов литья и прессования металла; силы контактного трения между заготовкой и контейнером способствуют созданию усилия, необходимого на прессование заготовки; устраняется операция по производству слитка и его нагрева перед прессованием; повышается выход годного металла.

Основным недостатком развития совмещенного процесса является различная организация процесса, так как на большинстве заводов процесс прессования остался дискретным, а процесс литья – непрерывным. При реализации процесса непрерывной подачи заготовок в очаг деформации, что характерно для методов непрерывного прессования, задача становится разрешимой. При этом экономия энергозатрат, например для алюминия, составит около 600 кДж/кг.

По сравнению с затратами на прессование экономия энергозатрат при обработке алюминия составит от 100 до 350 %, причем чем меньше коэффициент вытяжки, тем больше эта экономия. Таким образом, способы непрерывного прессования должны совмещаться с методами непрерывной разливки металла, что существенно повышает экономические показатели предлагаемых технологий.

Применение ЛПА выгодно при больших объемах производства и небольшой номенклатуре выпускаемых изделий. При этом в значительной степени сокращаются нерациональные потери времени, энергии и металла, снижаются затраты на установку дополнительного оборудования (нагревательных печей), сокращается производственный цикл, уменьшается объем незавершенного производства и достигается высокая степень механизации и ав-

томатизации. Применение таких агрегатов широко распространено в России и за рубежом для производства алюминиевой и медной катанки, однако используемые ЛПА требуют больших затрат и производственных площадей, их технологические возможности производства ограничены в связи с узостью сортамента выпускаемой продукции.

Новые разработки в области непрерывного прессования способом «Конформ» расширяют сферу их применения. Однако потери энергии в заявленных конструкциях машин Конформ настолько значительны, что приводят к увеличению мощности приводного электродвигателя в 5–7 раз по сравнению с методом совмещенной прокатки-прессования, а также к сильному нагреву деформирующего узла. С учетом того, что инструментальный блок расположен в неподвижной части установки (башмаке), усложнение его конструкции, как правило, ведет к снижению надежности процесса и стойкости инструмента.

Одним из новых решений для производства пресс-изделий небольшого сечения из алюминиевых сплавов является схема совмещенного литья и прокатки-прессования. В состав линии входят: установка непрерывного литья заготовок, правильно-задающее устройство, агрегат непрерывной обработки металла, инструментальный узел, поджимное устройство с гидроцилиндром поджима матрицы, охлаждающее устройство, накопитель, стол обрезки с ручными ножницами, моталка, механические ножницы (рис. 57).

Ориентировочные габаритные размеры проектируемого оборудования, таким образом, составили 12700x5100x4000 мм. Последовательность работы линии следующая. Расплавленный металл из плавильной печи загружается в миксер, где поддерживается постоянная температура расплава, составляющая около 720 °С. Далее из миксера по летке расплавленный металл поступает на установку непрерывного литья заготовок. В состав последней могут входить, в зависимости от варианта технологической цепочки, устройство подачи металла в валки с разливочной коробкой, кристаллизатор, причем тип кристаллизатора зависит от формы, размеров и назначения получаемого изделия. Например, для получения прутков используется роторный кристаллизатор, где формируется заготовка трапецеидальной формы с площадью поперечного сечения около 1600 мм². Затем при помощи правильно-задающего устройства литая заготовка поступает в валки прокатного стана, где подвергается прокатке и последующему экструдированию через матрицу с заданным диаметром калибрующего отверстия. Полученное пресс-изделие охлаждается и через накопитель поступает для смотки на моталку со сменной катушкой.

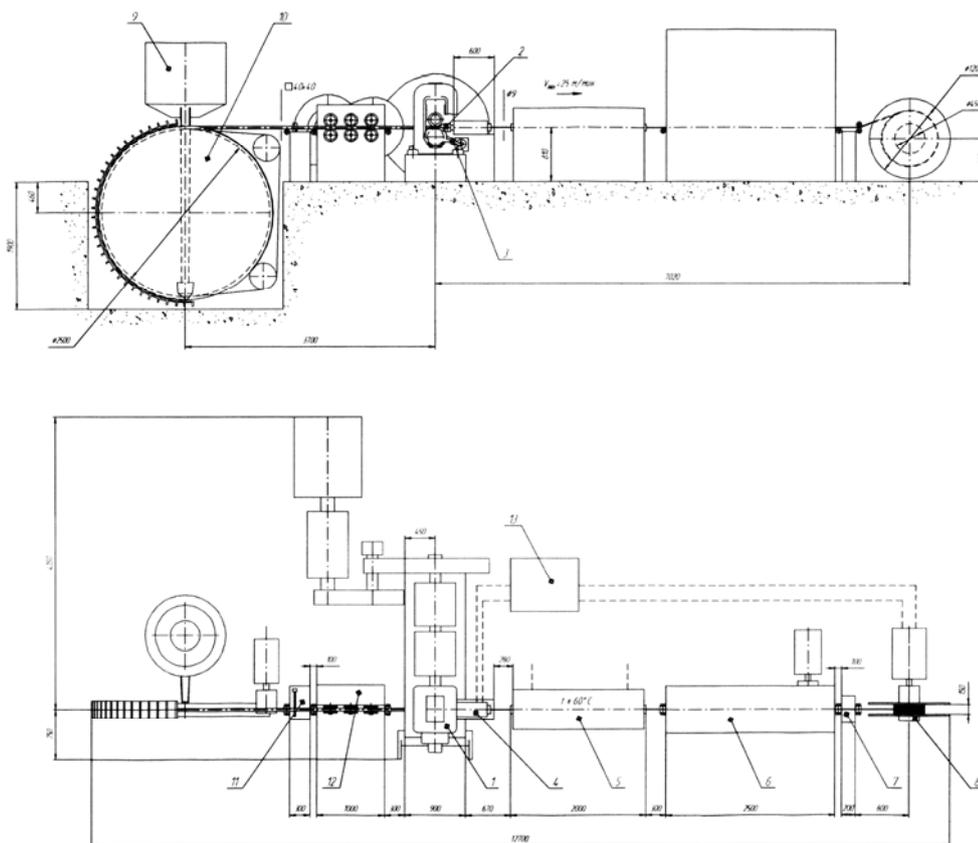


Рис. 57. Принципиальная схема линии непрерывной обработки алюминия и его сплавов

Для резки литой заготовки предусмотрены механические ножницы, а для резки изделий – ручные ножницы, установленные на столе. Для гарантированного поджима матрицы к валкам используется гидроцилиндр, имеющий привод от маслостанции. Ориентировочная часовая производительность установки, рассчитанная исходя из параметров кристаллизатора, должна составить от 300 до 500 кг. Возможен также вариант использования только узла совмещенной прокатки-прессования. При этом подогретая до температуры деформации заготовка обрабатывается только путем прокатки-прессования. В данном случае производительность при непрерывной подаче заготовки может быть увеличена в 2–5 раз.

Представленные новые технические решения могут оказаться более эффективными в случае их совмещения с установками непрерывного литья, так как это позволит не только исключить промежуточный нагрев заготовки, но и получить пресс-изделия неограниченной длины без сварных стыков. Для реализации таких процессов предложена конструкция установки для непрерывного литья и прессования, общий вид которой показан на [рис. 55](#).

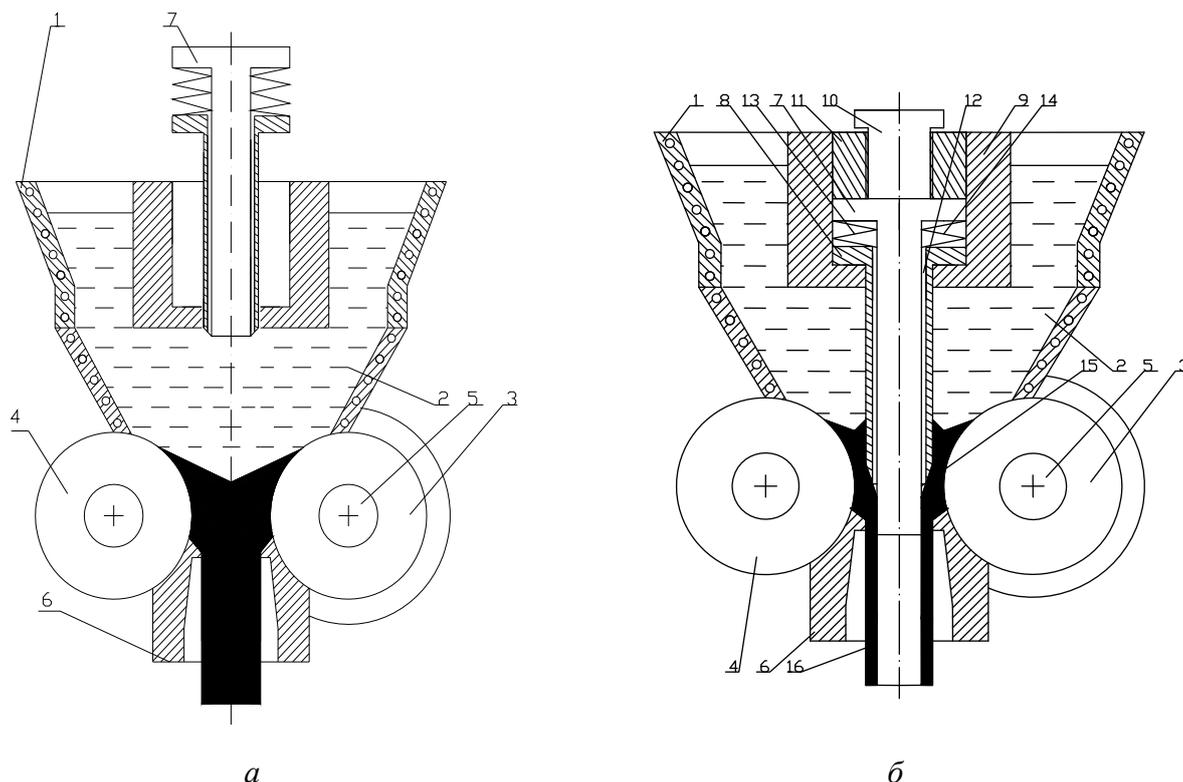


Рис. 58. Устройство для беслитковой прокатки-прессования сплошных (а) и полых (б) пресс-изделий

В процессе работы расплавленный металл из печи-миксера подается в раздаточную коробку с регулированием уровня в автоматическом режиме. Затем, попадая в канавку колеса роторного кристаллизатора, перекрытую бесконечной стальной лентой, проходящей через ролики и охлаждаемой при помощи форсунок, закристаллизовавшийся слиток через направляющий ролик задается в калибр, образованный валком с выступом и валком с ручьем. Далее заготовка подвергается пластической деформации и готовое пресс-изделие выдавливается через водоохлаждаемую матрицу, поджатую к валкам через клиновое устройство поршнем гидроцилиндра, а затем сматывается в бухту на моталке, пройдя перед этим охлаждение в емкости узла охлаждения.

В последней конструкции установки для совмещенного литья и прокатки-прессования для получения литой заготовки используется роторный кристаллизатор. С целью снижения металлургических переделов и исключения из схемы обработки такой достаточно сложной машины, как кристаллизатор, предлагается вариант устройства для беслитковой прокатки-прессования (рис. 58).

В этом случае расплав заливается непосредственно в валки-кристаллизаторы установки, кристаллизуется в виде заготовки прямоугольной формы, подвергается деформации при помощи тех же валков, а затем выдавливается через калибрующее отверстие матрицы.

Отличительной чертой данного устройства является то, что оно снабжено установленной соосно матрице длинномерной иглой с механизмом ее

отвода, жестко закрепленной фиксатором и расположенной в обойме с каналами для подачи смазки, размещенными по периметру иглы выступами для запираения каналов. При этом в валках выполнены водоохлаждаемые полости.

Контрольные вопросы

1. Какие изделия принято называть метизами?
2. В чем заключается сущность операции высадки?
3. Какое оборудование применяется для изготовления гвоздей, шурупов, гаек и др.?
4. Какова последовательность работы холодновысадочного автомата?
5. Каким образом получают металлопрокат в виде гнутых профилей?
6. Каковы виды гнутых профилей?
7. В чем заключается сущность процесса профилировки на профилегибочных станах?
8. В чем заключаются преимущества технологии производства гнутых профилей по сравнению с другими технологиями?
9. Что включается в состав агрегата с непрерывным процессом профилирования для производства гнутых профилей?
10. В чем заключаются особенности калибровки валков для прокатки гнутых профилей?
11. Какие операции ОМД можно считать базовыми для создания комбинированных методов обработки металлов и сплавов?
12. К каким преимуществам ведет совмещение операций литья и обработки металлов давлением?
13. Какие вы знаете совмещенные процессы обработки металлов и сплавов (приведите примеры)?
14. В чем заключаются преимущества совмещения процессов прокатки и прессования?
15. Каким образом можно получать сплошные пресс-изделия с помощью метода совмещенной прокатки-прессования?
16. Какой тип калибра следует применять для процесса совмещенной прокатки-прессования?
17. В чем заключается особенность устройств для получения полых профилей методом совмещенной прокатки-прессования?
18. Для производства какой продукции целесообразно применять агрегаты совмещенного литья и прокатки?
19. Какое оборудование входит в состав ЛПА?
20. В чем заключается сущность процесса бесслитковой прокатки ленты?
21. В чем заключается особенность установок непрерывного литья и прессования металлов?
22. Какие преимущества имеет способ совмещенного литья и прессования по сравнению с традиционными технологиями?

23. Какое оборудование входит в состав линии совмещенного литья и прокатки-прессования?
24. Какие особенности и экономические преимущества имеет способ литья и прокатки-прессования при заливке металла непосредственно в валки?
25. Каким образом можно получить трубы методом совмещенного литья и прокатки-прессования?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Лекция 17

(ауд. занятия – 2 ч, самостоят. работа – 2 ч).

Основы формирования качества металлопродукции. Энерго- и ресурсосбережение в процессах ОМД. Экологическая безопасность в технологических процессах ОМД.

Качество металлопродукции, изготавливаемой на заводах по обработке металлов давлением, в значительной степени определяется технологическим процессом производства. При этом контроль качества является составной и обязательной частью этого процесса. В последнее время наблюдается переход от традиционного контроля качества продукции к управлению качеством, т.е. вместо обнаружения дефектов ставится задача их предупреждения. Такая методология изложена в международных стандартах ИСО серии 9000. Стандарты ИСО служат основой «элементарного предконкурентного уровня», достижение которого предопределяет успех предприятия в экономической деятельности.

Как правило, осуществляется контроль качества исходных заготовок (слитков), готовой продукции и межоперационный контроль. Заготовки контролируют на предмет соответствия их параметров техническим условиям. Межоперационный контроль необходим для предупреждения брака и состоит в корректировке работы инструмента (например штампов), работы оборудования и механизации. Контроль качества готовой продукции сводится к определению соответствия размеров, структуры и твердости готовых изделий техническим условиям. Имеется достаточно большое количество методов контроля качества изделий, в том числе без их разрушения.

К браку исходного металла относят: волосовины (тонкие трещины глубиной до 2 мм); закаты (заусенцы в виде продольных складок); плены (застывшие брызги жидкого металла на поверхности слитков); расслоение (усадочная раковина или рыхлость); неметаллические включения шлака, песка, огнеупоров и т.д., попадающие в металл при плавке; флокены (скопления мелких трещин); несоответствие марки сплава.

При межоперационном контроле и контроле готовой продукции может быть выявлен брак при нагреве (перегрев и пережог), резке (торцовые трещины, косой и грубый срезы и др.), деформации металла (вмятины, забоины, недоштамповка, зажимы отклонение от заданных размеров, незаполнение инструмента и др.), термической обработке (повышенная твердость, закалочные трещины и др.).

Для предупреждения брака необходимо строгое соблюдение технологического процесса производства изделий, а также режимов нагрева и термической обработки металла. Основным средством борьбы за качество металла является правильная организация сквозного технического контроля на всех

стадиях технологического процесса. При этом операции технического контроля являются элементами технологического процесса и вносятся в операционно-технологические карты наряду с производственными операциями.

В качестве основных методов контроля качества полуфабрикатов и изделий можно выделить следующие:

- химический и спектральный анализ химического состава металла или сплава;
- ультразвуковой контроль (наличие трещин устанавливается с помощью дефектоскопа методом ультразвуковых волн);
- электромагнитный контроль (контроль взвешенными металлическими частицами применяют для обнаружения дефектов на поверхности изделий любой конфигурации);
- контроль электроконтактными приборами (для проверки размеров, припусков, перпендикулярности и эксцентricности изделий);
- контроль твердости металла;
- контроль механических свойств изделий.

Технико-экономические показатели цеха по обработке металлов давлением зависят от его вида, специализации, уровня механизации и автоматизации и др. К этим факторам можно отнести номенклатуру и количество изделий, их среднюю массу, вид используемого оборудования, вид производства (массовое, серийное и др.).

Основным технико-экономическим показателем работы цеха является выработка (в тоннах) изделий в год на одного работающего. Например, для горячештамповочных цехов этот показатель составляет от 45–50 до 100–120 т, а в новейших цехах – до 175 т годных поковок на одного работающего. Также для оценки используют такие показатели, как производительность труда (количество производимой продукции в единицу времени) и трудоемкость (количество человеко-часов, затраченных на изготовление 1 т изделий). Трудоемкость, например, в штамповочных цехах, в среднем составляет от 5 до 15 чел.-ч на тонну поковок. Чем выше организация и уровень технологии производства, тем выше производительность и ниже трудоемкость. Экономическим показателем, характеризующим уровень техники, технологии и организации производства в цехе является себестоимость 1 т изделий. Она выражает в денежной форме все затраты цеха, связанные с производством.

Особое внимание уделяется в металлообработке энерго- и ресурсосбережению. В этом плане выделяют несколько показателей, таких как расход металла, коэффициент использования металла и др. Коэффициент расхода металла является одним из важнейших показателей работы цеха. Для большинства кузнечно-штамповочных цехов автомобилестроения он составляет 1,2–1,3, т.е. расход металла на 1 т годных поковок составляет 1200–1300 кг. Этот коэффициент может быть уменьшен за счет снижения припусков на обработку, методов рационального раскроя материалов и дальнейшего совершенствования технологических процессов. При этом в зависимости от применяемого оборудования необходимо добиваться снижения энергозатрат, на-

пример, при работе на паровоздушных молотах – расхода пара и сжатого воздуха при работе на кривошипных прессах – электроэнергии и т.д.

Из других показателей ресурсосбережения необходимо отметить коэффициент использования металла, представляющего собой численное отношение массы детали к массе израсходованного на него металла (см. введение) и показатель брака, который составляет обычно 0,8 % и не превышает 1,3–1,5 %.

Особое внимание в технологических процессах ОМД уделяется экологической безопасности промышленного производства.

Выбросы промышленных предприятий, энергетических систем и транспорта в атмосферу на современном этапе развития достигли больших размеров. При этом уровни загрязнений порой значительно превышают допустимые санитарные нормы. Цехи по обработке металлов давлением выделяют в атмосферу пыль, токсичные газы, пары и аэрозоли.

В ряд мероприятий по охране окружающей среды входят:

- создание и внедрение новых технологий получения продукции с образованием наименьшего количества отходов;
- защита воздушного пространства от загрязнений при производстве продукции, вытяжной вентиляционной системы с очисткой воздуха от газов, паров, пыли;
- высокоэффективная очистка от пыли и вредных составляющих всех отходящих газов, выделяемых оборудованием цеха;
- применение наиболее современных технологических процессов и оборудования, обеспечивающих отсутствие или незначительное выделение в атмосферу и сточные воды вредных веществ в концентрациях, не превышающих санитарно–гигиенические нормы;
- экологическая экспертиза всех видов производств и промышленной продукции;
- замена токсичных отходов на нетоксичные;
- замена не утилизируемых отходов на утилизируемые;
- широкое применение дополнительных методов и средств защиты окружающей среды.

В металлургии для очистки воздуха от газов и пыли применяют пылеулавливающие циклоны ЦН-15, у которых эффективность очистки (65+90) % и скрубберы (аппараты мокрой очистки), степень очистки у которых достигает 90 %. Циклоны удобны в применении, дешевы и не требуют больших затрат электроэнергии.

Очистку сточных вод цехов металлообрабатывающих заводов предусматривают в отстойниках и маслоуловителях. Методы, применяемые для очистки производственных и бытовых сточных вод, можно разделить на три группы: механические, физико-химические, биологические.

Очистка воздуха представляет собой удаление из воздуха техническими средствами пыли и других вредных примесей. Очистке обычно подвергают воздух, подаваемый в помещения жилых, общественных и производственных зданий системами приточной вентиляции и кондиционирования воз-

духа; воздух, используемый в технологических процессах (например, для получения кислорода); загрязненный воздух, удаляемый из производственных зданий перед выбросом его в атмосферу. Очистка воздуха, забираемого из атмосферы, производится главным образом с целью уменьшения содержания в нем пылевых частиц.

Концентрация пыли различного происхождения в приземных слоях атмосферы в среднем за сутки может достигать в жилых районах промышленных городов 0,5 мг/м, в индустриальных районах – 1 мг/м. В отдельных случаях, например, вблизи промышленных предприятий, технологические процессы которых сопровождаются интенсивным выбросом в атмосферу запыленных газов (черная металлургия, производство цемента и т. п.), содержание пыли в воздухе может быть значительно больше. Ее предельно допустимые концентрации на территории промышленных предприятий и прилегающих к ним жилых районов устанавливаются соответствующими санитарными нормами.

Очистка от пыли подаваемого в здания наружного воздуха наряду с улучшением состояния воздушной среды помещений предупреждает загрязнение их внутренней отделки и оборудования, а также теплообменников и других элементов вентиляционных систем. Отдельные технологические процессы современного промышленного производства могут проводиться лишь в помещениях, вентилируемых тщательно обеспыленным воздухом (предприятия по производству полупроводниковых и других электронных изделий, точных приборов и т. п.). Дополнительная очистка воздуха от примесей кислот и других химических соединений необходима также для обеспечения бесперебойной работы некоторых сложных технических устройств. Воздух, потребляемый в технологических процессах, подвергается очистке для предупреждения попадания пыли внутрь технологического оборудования, уменьшения износа компрессоров, воздуходувок и т. д.

Выбор средств для очистки воздуха зависит от степени его загрязненности и требований, предъявляемых к очистке. Наиболее распространенные устройства для очистки воздуха, подаваемого в помещения, – воздушные фильтры, устанавливаемые в приточных камерах систем вентиляции и кондиционирования. С их помощью производится также очистка так называемого рециркуляционного воздуха, удаляемого из помещения вытяжными вентиляционными системами и затем смешиваемого с наружным воздухом, подаваемым в помещения. Рециркуляции применяют для снижения затрат на подогрев воздуха или его охлаждение. В случаях, когда содержание пыли в рециркуляционном воздухе велико, его предварительно очищают в пылеуловителях.

Снижение запыленности, газо- и парообразования на рабочих местах до установленных санитарных норм осуществляется применением вентиляции, а также проведением комплекса профилактических мероприятий санитарно-технического характера. Все источники образования пыли (мельницы, сита, бегуны, смесители и другие виды оборудования) снабжаются по воз-

возможности укрытиями и местной вытяжной вентиляцией. Выбрасываемый в атмосферу воздух проходит через пылеочистные устройства.

Совершенствование технологической стороны процесса производства в сочетании с использованием аппаратов очистки от вредных выделений позволяет создать наиболее благоприятные условия труда и сократить выброс загрязняющих веществ в окружающую среду.

Таким образом, эффективность производства определяется не только правильным построением технологического процесса обработки металлов давлением, но и мероприятиями по повышению качества металлопродукции, энерго- и ресурсосбережению и мерами охраны труда, окружающей среды и экологической безопасности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Константинов, И. Л. Основы обработки металлов давлением : учеб. пособие / И. Л. Константинов; ГУЦМиЗ. – Красноярск, 2004.
2. Сидельников, С. Б. Элементы расчетов процессов обработки металлов давлением : учеб. пособие / С. Б. Сидельников, Н. Н. Довженко, И. С. Гоголь; ГУЦМиЗ. – Красноярск, 2005.
3. Сидельников, С. Б. Комбинированные и совмещенные методы обработки цветных металлов и сплавов : монография / С. Б. Сидельников, Н. Н. Довженко, Н. Н. Загиров. – М. : МАКС Пресс, 2005.
4. Еланский, Г. Н. Основы производства и обработки металлов / Г. Н. Еланский, Б. В. Линчевский, А. А. Кальменев. – М. : МГВМИ, 2005.
5. Зиновьев, А. В. Технология обработки давлением цветных металлов и сплавов / А. В. Зиновьев, А. И. Колпашников. – М. : Metallurgia, 1992.
6. Щерба, В. Н. Технология прессования металлов / В. Н. Щерба, Райтбарг. – М. : Metallurgia, 1995.
7. Непрерывное литье-прессование цветных металлов / В. М. Сергеев, Ю. В. Горохов, В. В. Соболев, Н. К. Нестеров. – М. : Metallurgia, 1990.
8. Корнилов, В. Н. Непрерывное прессование со сваркой алюминиевых сплавов / В. Н. Корнилов. – Красноярск, 1993.
9. Суворов, И. К. Обработка металлов давлением / И. К. Суворов. – М. : Высш. шк., 1980.
10. Технология процессов обработки металлов давлением / под ред. П. И. Полухина. – М. : Metallurgia, 1988.
11. Диомидов, Б. Б. Технология прокатного производства / Б. Б. Диомидов, Н. В. Литовченко. – М. : Metallurgia, 1979.
12. Охрименко, Я. М. Технология кузнечно-штамповочного производства / Я. М. Охрименко. – М. : Машиностроение, 1976.
13. Грабарник, Л. М. Прессование цветных металлов и сплавов / Л. М. Грабарник, А. А. Нагайцев. – М. : Metallurgia, 1991.
14. Романовский, В. П. Справочник по холодной штамповке / В. П. Романовский. – Л. : Машиностроение, 1979.
15. Ерманок, В. З. Волочение цветных металлов и сплавов / В. З. Ерманок, Л. С. Ватрушин. – М. : Metallurgia, 1984.
16. Сторожев, М. В. Технологияковки и горячей штамповки цветных металлов и сплавов / М. В. Сторожев, Д. И. Середин, С. Б. Кирсанова. – М. : Высш. шк., 1967.