

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**В. М. Капцевич, В. К. Корнеева**

**ПРАКТИКА ОЗНАКОМИТЕЛЬНАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ.  
КУЗНЕЧНЫЕ РАБОТЫ**

Минск  
БГАТУ  
2025

УДК 621.735(07)  
ББК 34.623я7  
К20

**Рецензенты:**

кафедра «Технология и методика преподавания»  
Белорусского национального технического университета  
(старший преподаватель *Е. И. Михасик*);  
доктор технических наук, профессор,  
заместитель генерального директора по научной работе  
ГНПО порошковой металлургии *Е. Е. Петюшик*

**Капцевич, В. М.**  
К20 Практика ознакомительная инженерная. Кузнечные работы :  
учебно-методическое пособие / В. М. Капцевич, В. К. Корнеева. –  
Минск : БГАТУ, 2025. – 60 с.  
ISBN 978-985-25-0315-0.

Приведены теоретические основыковки металлов, технология и техника выполнения кузнечных работ, используемые оборудование и инструмент, что позволяет обучающемуся приобрести практические навыки ручнойковки при прохождении ознакомительной инженерной практики.

Для обучающихся агротехнических специальностей общего высшего образования.

**УДК 621.735(07)**  
**ББК 34.623я7**

**ISBN 978-985-25-0315-0**

© БГАТУ, 2025

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КУЗНЕЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА .....	6
1.1. Обработка металлов давлением .....	6
1.2. Ковка металлов .....	13
2. ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЫПОЛНЕНИЯ КУЗНЕЧНЫХ РАБОТ РУЧНОЙ КОВКОЙ .....	27
2.1. Составление чертежа поковки .....	27
2.2. Определение массы исходной заготовки .....	28
2.3. Выбор вида исходной заготовки и определение ее размеров .....	30
2.4. Выбор режимов нагрева заготовок при ковке. Охлаждение поковок .....	32
2.5. Кузнечные операции и инструменты .....	34
2.5.1. Выбор операций и инструмента дляковки .....	34
2.5.2. Порядок и особенности выполнения основных кузнечных операций .....	36
2.6. Выявление дефектов поковок и возможные пути их устранения .....	40
2.7. Термическая обработка поковок .....	44
3. КУЗНЕЧНО-ТЕРМИЧЕСКАЯ МАСТЕРСКАЯ КАФЕДРЫ .....	46
4. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ КУЗНЕЧНЫХ РАБОТ .....	49
5. ПЛАН ПРОХОЖДЕНИЯ КУЗНЕЧНОЙ ПРАКТИКИ. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА .....	55
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	58

## ВВЕДЕНИЕ

Теоретическое обучение и практика – две неразрывно связанные стороны процесса познания. При изучении теоретического курса «Материаловедение и технология конструкционных материалов» студенты узнают о строении материалов, взаимосвязи их структуры со свойствами, осваивают методы управления структурой и свойствами материалов, изучают процессы получения заготовок и их обработки. В процессе практической подготовки студенты осваивают на практике технологические процессы и приемы получения заготовок и изделий с требуемыми свойствами.

Прохождение ознакомительной инженерной практики является одной из важнейших составляющих подготовки высококвалифицированных специалистов, способных решать задачи в области эксплуатации и ремонта сельскохозяйственной техники и сельскохозяйственного машиностроения. Кузнечные работы – неотъемлемая часть учебной практики, которая проводится на базе учебных мастерских кафедры технологии металлов учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет».

Кузнечные работы, в частности ручнаяковка, применяются на сельскохозяйственных предприятиях для создания инструментов, ремонта деталей техники (плугов, борон, культиваторов), изготовления ограждений, ворот, каркасов теплиц и загонов и др. Она позволяет изготавливать долговечные, индивидуальные изделия, поддерживать традиции и обустраивать фермы для агротуризма.

В соответствии с квалификационными требованиями, современный инженер должен иметь глубокие теоретические знания и определенные практические навыки. Знание основ кузнечного дела, умение выполнять основные операцииковки являются составной частью профессиональной подготовки инженеров сельскохозяйственного производства.

Учебно-методическое пособие содержит следующие разделы: теоретические основы кузнечного производства; практические основы выполнения кузнечных работ ручнойковкой; кузнечно-термическая мастерская кафедры; техника безопасности при выполнении кузнечных работ. В конце пособия представлен подробный план прохождения кузнечной практики и указания по оформлению отчета, а также список рекомендуемой литературы.

Учебно-методическое пособие по кузнечным работам разработано в соответствии с программой учебной ознакомительной инженерной практики для студентов дневной и заочной форм получения образования для специальностей 6-05-0812-01 «Техническое обеспечение производства сельскохозяйственной продукции», профилизация «Технические средства и технологии»; 6-05-0812-02 «Техническое обеспечение хранения и переработки сельскохозяйственной продукции», профилизация «Технологическое оборудование для переработки сельскохозяйственной продукции»; 6-05-0812-03 «Технический сервис в агропромышленном комплексе», профилизация «Технический сервис машин и оборудования»; 6-05-1021-01 «Охрана труда на производстве», профилизация «Охрана труда в АПК».

*Целью* кузнечной практики является закрепление теоретических знаний студентов по дисциплине «Материаловедение и технология конструкционных материалов» и приобретение практических навыков в областиковки металлов.

*Задачи* кузнечной практики:

- ознакомление студентов с организацией рабочего места кузнеца, инструментами и оборудованием кузнечно-термической мастерской;
- приобретение навыков разработки технологического процессаковки и освоение технологии ее выполнения;
- обучение студентов выполнению различных кузнечных операций для получения поковок ручной ковкой.

# 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КУЗНЕЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

## 1.1. Обработка металлов давлением

В основе всех процессов обработки металлов давлением (ОМД) лежит способность металлов и их сплавов под действием внешних сил пластически деформироваться, т. е., не разрушаясь, необратимо изменять свою форму и размеры. При этом изменяется структура металла, его механические и физические свойства.

Преимуществами методов ОМД являются следующие:

- низкая трудоемкость процессов и, следовательно, их высокая производительность;
- рациональное использование металла (коэффициент использования металла (КИМ) приближается к единице);
- стабильность размеров и относительно высокая точность изготавливаемых деталей при большой сложности их форм;
- универсальность используемого прессового оборудования;
- возможности для механизации и автоматизации технологических процессов;
- простота осуществления процесса.

Главными недостатками методов ОМД являются следующие: относительно высокая стоимость инструмента (в условиях серийного производства она составляет до 14 % от себестоимости деталей), а также сложность и уникальность прессового оборудования.

Основными процессами ОМД являются: прокатка, прессование, волочение, ковка, объемная и листовая штамповка.

**Обработка металлов давлением (ОМД)** – группа методов получения полуфабрикатов или изделий требуемых размеров и формы путем пластического деформирования заготовок за счет приложения внешних усилий.

Следует отметить, что металлы характеризуются наличием металлической связи, когда в узлах атомно-кристаллической решетки расположены положительно заряженные ионы, окруженные электронным газом. Наличие такой металлической связи и придает металлу способность подвергаться пластической деформации.

*Пластичность* – свойство твердого тела под действием внешних сил или внутренних напряжений, не разрушаясь, необратимо изменять свою форму и размеры. Такое изменение формы и размеров металлического тела называют пластической деформацией.

*Деформация* – изменение формы и размеров твердого тела под влиянием приложенных внешних сил.

При ОМД, во-первых, достигается получение изделий сложной формы из заготовок простой формы и, во-вторых, улучшается кристаллическая структура исходного литого металла и повышаются его физико-механические свойства.

**Наклеп и рекристаллизация.** В результате холодной пластической деформации происходит изменение структуры металла (рис. 1.1): исходные зерна металлов (рис. 1.1, *а*) постоянно вытягиваются в направлении растягивающих сил (рис. 1.1, *б*). Зерна удлиняются настолько, что напоминают волокна, поэтому структура деформированного металла называется волокнистой (рис. 1.1, *в*).

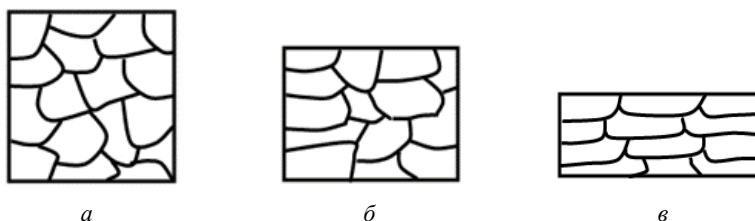


Рис. 1.1. Схема изменения структуры металла при холодной пластической деформации:

*а* – исходное состояние; *б* – изменение формы зерен при пластической деформации; *в* – структура металла после деформации

При холодной пластической деформации изменения структуры приводят к повышению твердости НВ и предела прочности металла  $\sigma_B$ , а также понижению его пластических (относительное удлинение  $\delta$ ) и вязкостных (ударная вязкость КС) свойств (рис. 1.2). Чем больше величина пластической деформации  $\epsilon$ , тем значительнее эти изменения.

Изменение свойств и структуры металла в результате пластической деформации в холодном состоянии называется **наклепом** или **упрочнением**.

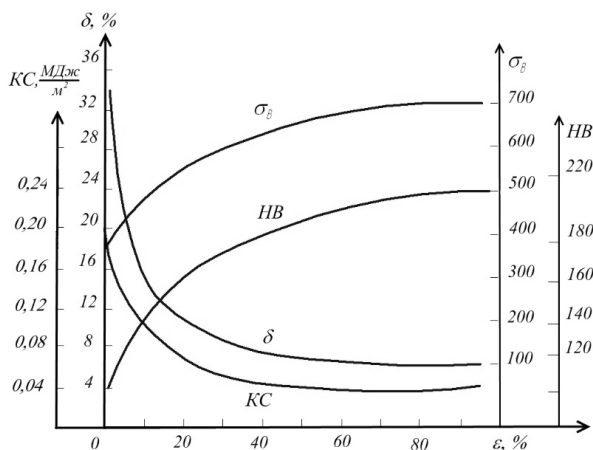


Рис. 1.2. Влияние степени деформации на механические свойства металлов

Наклеп не всегда является отрицательным фактором, затрудняющим процесс получения заготовки пластическим деформированием. Иногда его используют для получения изделия с необходимыми полезными свойствами (часто в сочетании с последующей термической обработкой). Например, гвозди должны быть изготовлены и могут применяться только из наклепанного металла. Гвозди, у которых наклеп снят термической обработкой (побывавшие в печи), к применению непригодны.

При определенной степени деформации металл утрачивает пластичность настолько, что дальнейшее деформирование внешним усилием может привести к его разрушению.

Деформированный металл по сравнению с недеформированным находится в неравновесном состоянии. В таком металле даже при комнатной температуре могут самопроизвольно протекать процессы, приводящие его в более устойчивое внутреннее состояние. При повышении температуры скорость таких процессов возрастает.

При нагреве до сравнительно низких температур протекает процесс возврата, т. е. снятие микронапряжений и частично искажений кристаллической решетки. Изменений структуры при этом еще не наблюдается. Возврат несколько изменяет свойства наклепанного металла (понижается его прочность и повышается пластичность). Возврат происходит при температуре  $(0,2-0,3) T_{пл}, K$ .



При дальнейшем нагреве в результате теплового воздействия происходит перестройка кристаллов деформированного тела, зарождение новых зерен (кристаллов) и их рост. Такой процесс называется **рекристаллизацией**.

В результате рекристаллизации (рис. 1.3) образуются совершенно новые зерна, с неискаженной кристаллической решеткой. Размеры новых зерен могут сильно отличаться от исходных. В результате рекристаллизации металл разупрочняется и восстанавливает свои первоначальные свойства, а его зерна становятся равноосными.

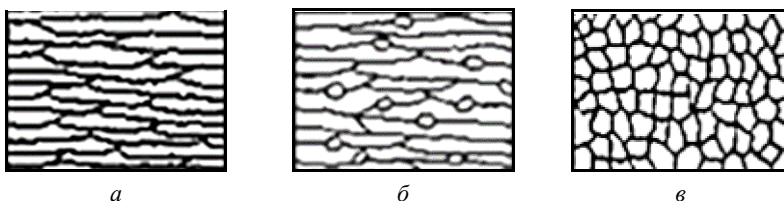


Рис. 1.3. Изменения микроструктуры деформированного металла при рекристаллизации:

*a* – наклепанный металл; *б* – начало рекристаллизации (зарождение зерен);  
*в* – завершение рекристаллизации (рост зерен)

Наименьшая температура нагрева, обеспечивающая возможность зарождения новых зерен называется температурой рекристаллизации  $T_{\text{рекр}}$ . Рекристаллизация для технически чистых металлов происходит при температурах  $T_{\text{рекр}} \geq 0,4 T_{\text{пл}}$ , К. Температура рекристаллизации  $T_{\text{рекр}}$  некоторых металлов представлена в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Температура плавления и рекристаллизации некоторых металлов

Металл	W	Mo	Fe	Cu	Al	Zn	Pb
$t_{\text{пл}}, ^\circ\text{C}$	3400	2625	1535	1084	660	419	327
$t_{\text{рекр}}, ^\circ\text{C}$	1200	900	450	200	100	20	свыше 20

**Холодная и горячая ОМД.** В зависимости от температурных условий деформирования различают холодную и горячую ОМД.

**Холодной обработкой металлов давлением** называется процесс, при котором деформирование производится при температуре

ниже температуры рекристаллизации ( $0,4 T_{пл}$ ) металла и сопровождается его наклепом.

Процесс холодной ОМД характеризуется изменением формы зерен, которые вытягиваются в направлении течения металла (волоконистая структура) и его механических свойств (по мере увеличения степени деформации, характеристики прочности возрастают, а пластичности и вязкости уменьшаются).

По сравнению с обработкой давлением при достаточно высоких температурах холодное деформирование позволяет получать изделия или заготовки, характеризующиеся большей точностью размеров и лучшим качеством поверхности. Такая технология позволяет сократить продолжительность технологического цикла, облегчает использование средств механизации и автоматизации и повышает производительность труда.

**Горячей обработкой металлов давлением** называется процесс, при котором деформирование производится выше температуры рекристаллизации ( $0,4 T_{пл}$ ) и характеризуется таким соотношением скоростей деформирования и рекристаллизации, при котором рекристаллизация успевает пройти во всем объеме заготовки и микроструктура после обработки давлением оказывается равноосной без следов упрочнения.

При горячей деформации пластичность металла выше, а сопротивление деформированию примерно в 10 раз меньше, чем при холодной деформации. Кроме того, отсутствие упрочнения приводит к тому, что сопротивление деформированию (предел текучести) незначительно изменяется в процессе обработки давлением. Этим обстоятельством объясняется то, что горячую ОМД применяют для изготовления крупных деталей, поскольку при этом требуется меньшее усилие деформирования (менее мощное оборудование). Ее также целесообразно применять при обработке труднодеформируемых, малопластичных металлов и сплавов, а также заготовок из литого металла. Существуют металлы (цинк, вольфрам, молибден и др.), которые из-за высокой хрупкости в холодном состоянии можно обрабатывать только методами горячей ОМД.

Горячая ОМД обеспечивает получение деталей с мелкозернистой структурой, которая повышает их прочность, ударную вязкость и усталостную прочность по сравнению с деталями с крупнозернистой структурой металла. Поэтому горячую обработку нужно заканчивать при температурах, лишь немного превышающих

минимальную температуру рекристаллизации. В этом случае образовавшиеся новые рекристаллизованные зерна не успевают вырасти, и структура металла получается мелкозернистой.

Несмотря на дополнительные затраты (в связи с необходимостью иметь специальное оборудование и дополнительные расходы энергии), горячая ОМД широко используется в промышленности. При горячей деформации следует поддерживать необходимую температуру в ходе самого процесса обработки давлением (особенно при производстве изделий небольшого объема и с развитой поверхностью). В этом случае процесс усложняется в связи с потерей теплоты при контакте с деформирующим инструментом.

**Нагрев металла при обработке металлов давлением.** Нагрев металла при ОМД влияет на качество и стоимость продукции. При нагреве металла до соответствующей температуры необходимо обеспечить равномерный нагрев слитка или заготовки по сечению и длине за минимальное время с наименьшей потерей металла в окалину и экономным расходом топлива. Неправильный нагрев металла вызывает его дефекты (трещины, обезуглероживание, окисление, перегрев и пережог).

Из-за неравномерного нагрева заготовки разность температур по ее сечению приводит к тому, что тепловое расширение между более нагретыми периферийными слоями и менее нагретыми внутренними слоями вызывает значительные напряжения внутри заготовки и появление в ней *трещин*. Это характерно для высокоуглеродистых, легированных и специальных сталей, имеющих низкую теплопроводность и, как правило, пониженную пластичность. Для качества изделий, получаемых горячей обработкой давлением, существенное значение имеют режимы нагрева и охлаждения. Слишком быстрое и неравномерное охлаждение также приводит к образованию трещин или к короблению вследствие термических напряжений. Чем меньше теплопроводность стали, а также массивнее и сложнее конфигурация изделия, тем медленнее следует осуществлять нагрев и охлаждение.

*Окисление* приводит к появлению окалины, образующейся на поверхности стальных заготовок при нагреве на воздухе или в других средах, содержащих кислород. Так, слой окалины при нагреве углеродистой стали, состоящий из  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , может составлять 1 %–2 % от массы заготовки, что приводит к значительной потере металла.

*Обезуглероживание* – уменьшение содержания углерода в поверхностных слоях стальных изделий и заготовок при нагреве в средах содержащих кислород и водород. При нагреве, например, стали толщина обезуглероженного слоя может составлять 1,5–2 мм.

*Перегрев* – обратимый дефект, возникающий при нагреве стали до температуры на 100 °С–150 °С выше температуры, соответствующей точке  $AC_3$ . Он приводит к образованию крупнозернистой структуры и снижению механических свойств изготавливаемых изделий. Перегрев может быть устранен последующей термической обработкой (отжигом).

*Пережог* – необратимый дефект металла или сплава, заключающийся в окислении или оплавлении границ зерен в результате значительного превышения заданной температуры нагрева (нагрев до температуры близкой к температуре плавления).

Температуру начала и конца горячего деформирования определяют в зависимости от температуры плавления и рекристаллизации обрабатываемого металла.

Начальная температура горячей ОМД должна быть ниже температуры плавления, а конечная – выше температуры рекристаллизации. Так, для углеродистых сталей температуру горячего деформирования выбирают по диаграмме состояния Fe–C (рис. 1.4) на 100 °С–200 °С ниже температуры начала плавления (линия солидус) стали, а температуру конца деформирования – на 50 °С–100 °С выше температуры рекристаллизации.

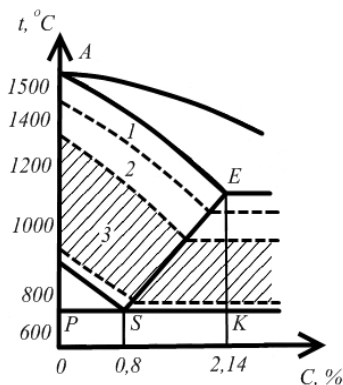


Рис. 1.4. Температурный интервал обработки давлением углеродистой стали:  
1 – зона пережога; 2 – зона перегрева; 3 – область горячей обработки

Выбранная технология нагрева в сочетании с правильными режимами пластической деформации и охлаждения металла значительно улучшают все характеристики готовых изделий или заготовок.

## 1.2. Ковка металлов

**Ковка** – вид горячей ОМД, при котором металл деформируется путем многократного воздействия на отдельные участки заготовки универсальным инструментом. При этом металл свободно течет в стороны, не ограниченные рабочими поверхностями инструмента.

Ковка является единственным возможным способом изготовления тяжелых поковок, масса которых составляет до 250 т и более (валов турбогенераторов, турбинных дисков, коленчатых валов судовых двигателей, якорей, валков прокатных станков, цельнотянутых барабанов для судов и котлов высокого давления).

По сравнению с другими видами обработки ковка имеет следующие *преимущества*:

- позволяет изготавливать крупногабаритные поковки массой в несколько сотен тонн, получение которых другими способами ОМД невозможно;
- обеспечивает получение заготовок с улучшенными механическими свойствами;
- обеспечивает возможность использования оборудования сравнительно небольшой мощности при ковке крупных поковок (по массе и размерам);
- снижает себестоимость изделий за счет применения универсальных оборудования и инструмента.

Основными *недостатками*ковки являются следующие:


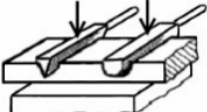
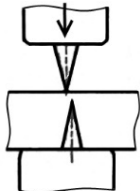

- низкая производительность;
- трудоемкость изготовления поковок;
- установление больших припусков, напусков и допусков, что приводит к значительным отходам металла при механической обработке поковок.

**Операции ковки.** Процесс ковки состоит из чередования в определенной последовательности операций, которые подразделяются на разделительные и формообразующие (ГОСТ 18970–84).

*Разделительные операции* – операции обработки металлов давлением, в результате которых происходит полное или частичное отделение одной части заготовки от другой. К этой группе операций относятся пробивка, надрубка, отрубка, разрубка и ломка (табл. 1.2).

Таблица 1.2

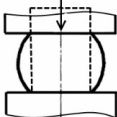
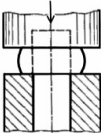
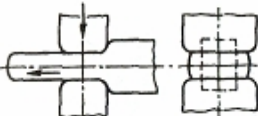
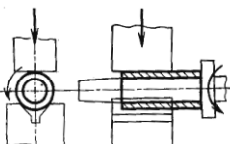

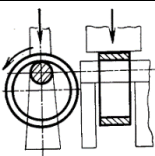
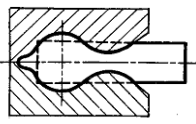
Разделительные операции ковки

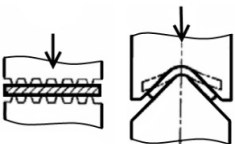
Определение операции	Схема операции
<b>Пробивка</b> – образование в заготовке отверстия или паза путем сдвига части металла с его удалением в отход	
<b>Надрубка</b> – образование углублений на заготовке за счет внедрения в нее кузнечного инструмента на неполную толщину заготовки	
<b>Отрубка</b> – полное отделение части заготовки по незамкнутому контуру путем внедрения в нее деформирующего инструмента. <b>Разрубка</b> – разделение поковки или заготовки на части путем внедрения в нее кузнечного инструмента	
<b>Ломка</b> – разделение заготовки на части путем ее разрушения изгибом	

*Формоизменяющие операции* – операции обработки металлов давлением, в результате которых путем пластического деформирования заготовки изменяется ее форма. К этой группе операций относятся гибка, скручивание, правка давлением, прошивка, протяжка кузнечная, осадка давлением, высадка, раскатка, подкатка, обкатка, разгонка, радиальное обжатие, проглаживание, передача и накатка. Определения и схемы формоизменяющих операций ковки представлены в табл. 1.3.

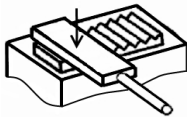
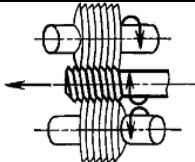
Таблица 1.3

## Формоизменяющие операцииковки

Определение операции	Схема операции
<b>Осадка давлением</b> – уменьшение высоты заготовки при увеличении ее поперечного сечения	
<b>Высадка</b> – осадка на отдельном участке заготовки	
<b>Протяжка кузнечная</b> – удлинение заготовки или ее части за счет уменьшения площади поперечного сечения	
<b>Протяжка с оправкой</b> – увеличение длины пустотелой заготовки за счет уменьшения толщины ее стенок	
<b>Разгонка</b> – увеличение размеров заготовки или ее части (в плане) за счет уменьшения толщины	
<b>Раскатка</b> – увеличение диаметра кольцевой заготовки за счет уменьшения толщины стенок путем последовательного воздействия инструмента	
<b>Подкатка</b> – увеличение площади поперечных сечений заготовки на одних ее участках за счет уменьшения площади поперечного сечения исходной заготовки на других участках при ее незначительном удлинении	

Определение операции	Схема операции
<b>Обкатка</b> – придание заготовке цилиндрической формы путем деформирования, чередующегося с поворотами заготовки вокруг своей оси	
<b>Прошивка</b> – получение несквозной полости в заготовке за счет свободного вытеснения металла	
<b>Гибка</b> – образование или изменение углов между частями заготовки или придание ей криволинейной формы	
<b>Передача</b> – смещение одной части заготовки относительно другой при сохранении параллельности их осей	
<b>Скручивание</b> – поворот части заготовки вокруг продольной оси	
<b>Радиальное обжатие</b> – уменьшение площади поперечного сечения заготовки под действием перемещающегося в радиальном направлении инструмента при их относительном вращении	
<b>Правка давлением</b> – устранение искажений формы заготовки	



Определение операции	Схема операции
<b>Проглаживание</b> – устранение неровностей поверхности заготовки последовательным местным ее деформированием	
<b>Накатка</b> – образование на заготовке резьбы или мелких рифлений непрерывным воздействием инструмента	

Изменение микроструктуры и механических свойств слитка при ковке зависит от степени деформации, которая выражается величиной **коэффициента уковки**.

Например, при осадке (увеличение площади поперечного сечения) коэффициент уковки  $У_k$  рассчитывается по формуле

$$У_{\text{пок}} = \frac{F_k}{F_n},$$

а при протяжке (уменьшение площади поперечного сечения):

$$У_{\text{пок}} = \frac{F_n}{F_k},$$

где  $F_n$  – начальная площадь поперечного сечения;  $F_k$  – конечная площадь поперечного сечения.

Значение коэффициента уковки выбирают в зависимости от формы и назначения поковки. Так, для придания волокнистой структуры средней частью слитка углеродистой стали достаточно производить протяжку или осадку с  $У_k$ , равным 2,5–3. Для поковок из стали карбидного класса, при ковке которых требуется измельчение карбидов и их равномерное распределение по сечению, необходимо принимать  $У_k$ , равным 8–12. При ковке из проката достаточно, чтобы  $У_k$  равнялся 1,3–1,5.

Следует отметить, что чем больше уковка, тем лучше прокован металл и выше его механические свойства. Лучшие механические

свойства поковки по сравнению с отливкой обусловлены формированием мелкозернистой структуры слитка и разрушением его дендритной структуры, заваркой газовых пузырей и микротрещин, устранением ликвации и т. п. В табл. 1.4 приведены механические свойства заготовок из высоколегированной стали 110Г13Л.

Таблица 1.4

Сравнительная характеристика механических свойств отливки  
и поковки из стали 110Г13Л

Вид заготовки	Предел прочности $\sigma_b$ , МПа	Относительное удлинение $\delta$ , %	Ударная вязкость КС, МДж/м <sup>2</sup>
Отливка	340–600	15–26	1,0–2,0
Поковка	800–900	42–45	2,6–3,0

В этой связи протяжку применяют для получения поковок с удлиненной осью (валы, рычаги, тяги и т. п.) и для большей уковки металла заготовки (в чередовании с осадкой). Из таких заготовок при помощи механической обработки изготавливаются ответственные детали (шестерни, муфты и т. п.).

Ковку подразделяют на ручную и машинную. *Ручная ковка* применяется при ремонтных и сборочных работах, а также при изготовлении мелких поковок малыми партиями и осуществляется при помощи специального кузнечного инструмента. *Машинная ковка* предназначена для получения мелких и средних поковок массой до 750 кг, а также крупных поковок массой до 350 т. Для ее осуществления необходимо наличие специализированного кузнечно-прессового оборудования (молоты, прессы) и кузнечного инструмента.

**Инструмент и оборудование дляковки.** По назначению кузнечный инструмент делят на три группы: основной технологический, вспомогательный (поддерживающий) и контрольно-измерительный.

**Основной технологический инструмент** служит для деформирования металла и придания ему требуемых форм и размеров. Основной инструмент подразделяют на опорный, ударный и подкладной.

*Опорный инструмент* представляет собой массивную опору, на которой выполняют практически все кузнечные операции. Опорным инструментом для ручнойковки служат наковальни различных

видов (рис. 1.5). Рога наковален используют, например, при выполнении операций гибки иковки пустотелых поковок. На плоской части наковален обычно выполняют два сквозных отверстия: круглое – для пробивки отверстий в заготовках и квадратное – для установки подкладного инструмента. Шперак (рис. 1.5, *г*) – небольшая переносная наковальня до 4 кг с двумя рогами, устанавливаемая в квадратное отверстие основной наковальни.

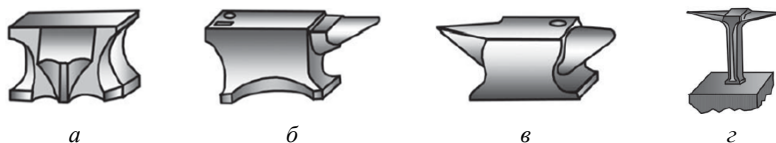


Рис. 1.5. Опорный инструмент – наковальни:  
*а* – безрогая; *б* – однорогая; *в* – двурогая; *г* – шперак

К ударному инструменту при ручной ковке относятся кувалды (боевые молоты) и ручники (кузнечные молотки). Кузнец пользуется ручником как для нанесения ударов, так и для указания молотобойцу места удара кувалдой при обработке сравнительно крупных заготовок. Ручник содержит два бойка, один из которых круглый или квадратный, иногда восьмигранный, имеет гладкую ударную поверхность с заваленными гранями. Другой боек, называемый также задком, или носком, может быть шарообразным, заостренным с округлым ребром или тупым. Кувалды – основной инструмент при ручной ковке. Они служат для нанесения ударов по нагретой заготовке, также имеют два бойка и подразделяются на тупо- и остроносые (рис. 1.6). Остроносые кувалды могут быть с поперечным или продольным расположением носков (задков).

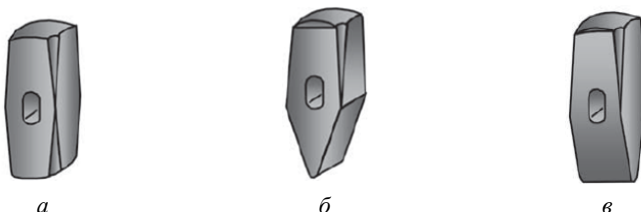


Рис. 1.6. Кувалды:  
*а* – тупоносая; *б* и *в* – остроносые с поперечным  
и продольным задками соответственно

При машинной ковке роль опорного и ударного инструмента выполняют бойки (рис. 1.7), жестко закрепляемые на молотах и прессах. Бойки подразделяются на плоские, вырезные и универсальные. Плоские бойки применяют дляковки поковок прямоугольного (в том числе квадратного) сечения, выполнения большинства основных операцийковки, а также для правки, сглаживания поверхностей и т. д. Вырезные бойки, применяющиеся дляковки круглых поковок типа осей и валов, имеют ограниченное применение и относятся к специализированному инструменту. Более широкое применение получили универсальные комбинированные бойки (плоский верхний и вырезной нижний). Их (как и вырезные бойки) применяют при ковке поковок круглого сечения, но эти бойки более универсальны, поскольку одна пара комбинированных бойков позволяет изготавливать круглые поковки более широкого диапазона по диаметру.

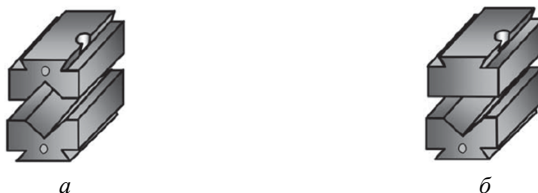


Рис. 1.7. Бойки:

*а* – нижний и верхний вырезные; *б* – верхний плоский и нижний вырезной

*Подкладной инструмент* размещают на заготовке или под ней. К подкладному инструменту относятся (рис. 1.8):

- кузнечные зубила (рис. 1.8, *а*) и подсечки (рис. 1.8, *б*) для ручнойковки, кузнечные топоры различных типов (рис. 1.8, *в*) и обсечки для машиннойковки, предназначенные для выполнения разделительных операций;

- подбойки (рис. 1.8, *г*) для ручнойковки и раскатки (рис. 1.8, *д*) для машиннойковки, применяемые для интенсификации операций протяжки и осадки;

- гладилки (рис. 1.8, *е*), предназначенные для сглаживания неровностей, образовавшихся на поверхности поковки от ударов кувалдой;

- пережимки, применяемые для образования пережимов при ковке уступов, выемок и выступов на валах, а также для предварительной разметки заготовок и повышения точности обработки;

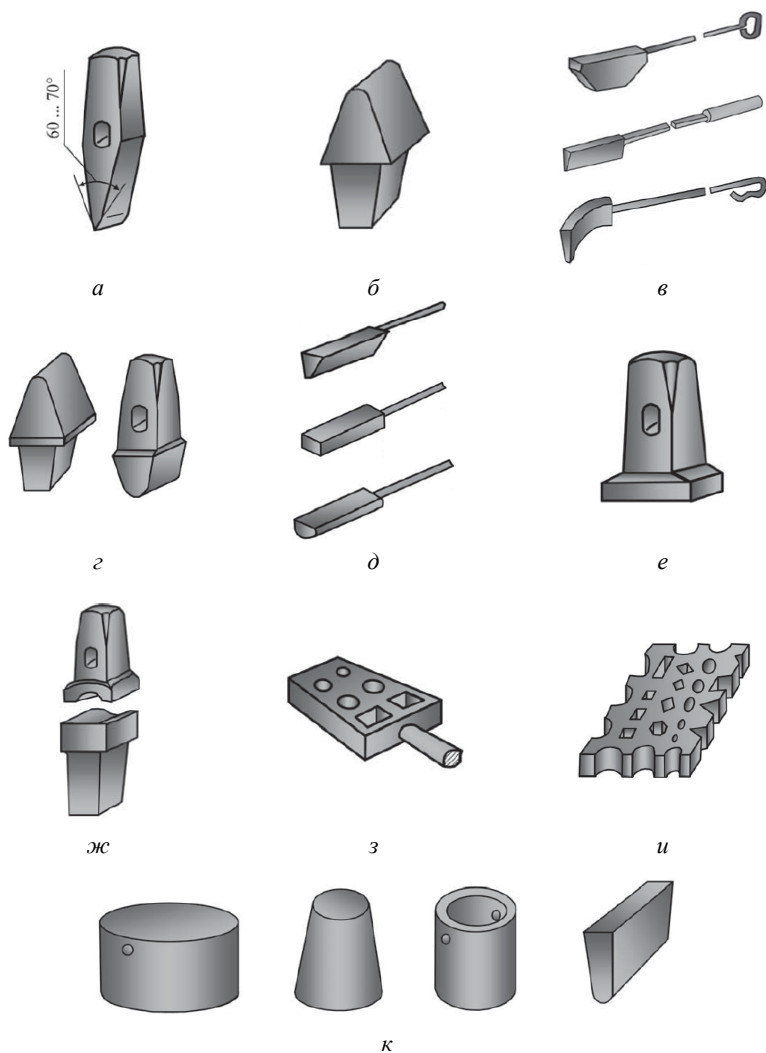


Рис. 1.8. Подкладной кузнечный инструмент:

*а* – зубило; *б* – подсечка; *в* – топоры; *г* – подбойки; *д* – раскатки; *е* – гладилка;  
*ж* – обжимки; *з* – гвоздильня; *и* – кузнечная форма; *к* – прошивни

– обжимки (рис. 1.8, *ж*), предназначенные для сглаживания поверхности круглых, квадратных и фасонных поковок и повышения точности их размеров и форм;

- гвоздильни (рис. 1.8, з), применяемые для высадки утолщенных головок у поковок типа стержней (болты, заклепки и др.);
- подкладные штампы для машиннойковки, используемые для изготовления небольших партий одинаковых поковок;
- кузнечные формы (рис. 1.8, и) для ручнойковки, применяемые для пробивки в поковках отверстий, при протяжке заготовок и отделке поковок круглого, квадратного, шестигранного и других сечений;
- оправочные кольца, используемые для операций высадки, протяжки на оправке и раскатки;
- пробойники для ручнойковки и прошивки (рис. 1.8, к) для машиннойковки, применяемые для изготовления в поковках отверстий и углублений.

**Вспомогательным** является инструмент, с помощью которого заготовку фиксируют в нужном положении в процессековки, кантуют вокруг оси, укладывают в печь, извлекают из нее и транспортируют к наковальне или к кузнечно-прессовому оборудованию.

К вспомогательному кузнечному инструменту относится подерживающий инструмент – клещи различных типов (рис. 1.9).

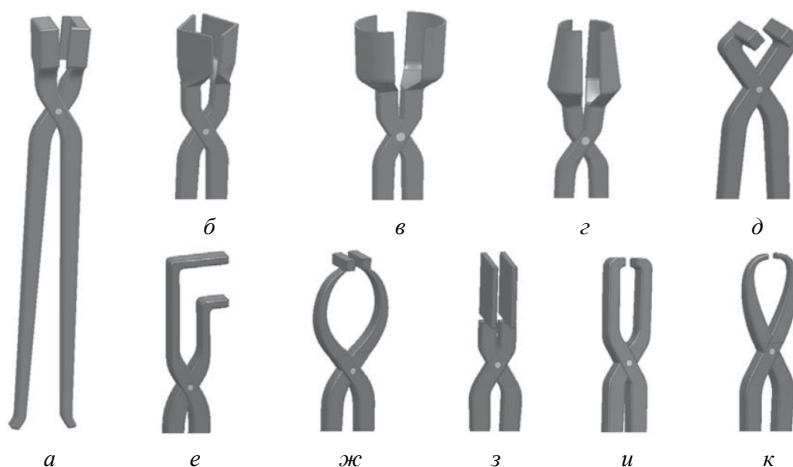


Рис. 1.9. Кузнечные клещи:

- с продольными губками (а – прямоугольными; б – квадратными; в – цилиндрическими; г – коническими);  
с поперечными губками (д – квадратными отогнутыми; е – плоскоокруглыми; ж – отогнутыми; з – плоскими; и – прямоугольными; к – острыми)

На крупных молотах и прессах обрабатывают заготовки такой массы, что для их перемещения в процессековки необходимо пользоваться различными механизированными захватными приспособлениями, специальными патронами, кантователями, ковочными манипуляторами, кран-балками и др.

**Контрольно-измерительный инструмент** применяют для разметки заготовки, контроля формы и размеров поковки по переходам в процессековки и окончательного контроля ее геометрических размеров. К контрольно-измерительному инструменту относятся универсальные (штангенциркуль, микрометр, кронциркуль, нутромер и др.), а также специальные инструменты, используемые непосредственно при выполнении операцийковки (металлические усадочные линейки, кузнечные кронциркули, нутромеры, шаблоны, предельные калибры (скобы) и угольники).

Основным **оборудованием** кузнечных цехов для деформирования металла являются молоты и гидравлические прессы различных типов, а для нагрева – различные нагревательные устройства.

**Ковочные молоты** – машины динамического действия, деформирующие заготовку ударом (за счет кинетической энергии поступательно движущихся рабочих частей). В зависимости от типа привода молоты бывают пневматическими, паровоздушными, механическими, гидравлическими, газовыми и т. п.

По принципу действия молоты бывают простого действия и двойного действия. У молотов простого действия ударные части движутся вниз под действием силы тяжести, а привод служит только для их подъема. Привод молотов двойного действия служит для подъема ударных частей и их движения вниз. В этом случае им придается дополнительное ускорение давлением пара или воздуха (0,7–0,9 МПа).

**Пневматические молоты** нашли широкое применение в кузницах небольших заводов и мастерских на участках ручнойковки. Такие молоты обладают следующими характеристиками: масса падающих частей 50–150 кг, скорость работы, соответственно, 95–225 ударов в минуту. Применяют эти молоты для получения небольших поволоков (0,5–20 кг) из сортового проката.

На рис. 1.10 показан пневматический молот двойного действия. Его основными частями являются рабочий цилиндр 6 с поршнем 5 и верхним бойком 4, а также компрессорный цилиндр 8

с поршнем 7. Привод компрессорного цилиндра состоит из электродвигателя 11, редуктора 10 и кривошипно-шатунного механизма 9. Нижний боек 3 крепится на промежуточной подушке 2, установленной на шаботе 1. Детали молота расположены в литой чугунной станине, а шабот фиксируется в окне станины с помощью деревянных клиньев.

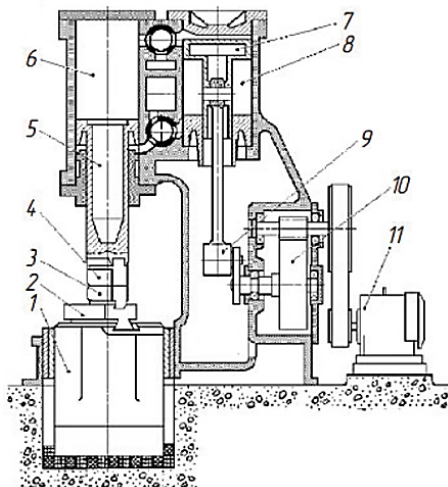


Рис. 1.10. Схема пневматического молота двойного действия

**Гидравлические ковочные прессы** – машины статического действия, продолжительность деформации на них может длиться от единиц до десятков секунд. Металл деформируется приложением усилия, создаваемого с помощью жидкости (водной эмульсии или минерального масла), подаваемой в рабочий цилиндр прессы. Ковочные прессы развивают усилие 5–100 МН. Их используют для изготовления крупных поковок, в основном, из слитков.

**Нагревательные устройства.** От правильного выбора и работы нагревательных устройств в значительной степени зависят производительностьковки и качество изготавливаемых поковок. В кузнечном производстве применяют различные по конструкции и принципу действия нагревательные устройства. При выборе нагревательных устройств руководствуются различными факторами, главные из которых являются технологические особенностиковки, химический



состав нагреваемого металла, размеры и формы заготовок, масштаб производства поковок и условия труда. Нагревательные устройства классифицируют по способу нагрева заготовок и по конструктивным признакам, определяющим режим загрузки заготовок.

При ручной ковке для нагрева заготовок, как правило, применяют кузнечные горны, в которых теплота образуется за счет сжигания твердого топлива (угля, кокса), мазута или газа. Кузнечные горны являются простейшими нагревательными устройствами. Несмотря на низкий КПД (до 10 %) и малую производительность, их широко используют для нагрева заготовок при ручной ковке. Горны имеют простую конструкцию, занимают мало места и не требуют сложной аппаратуры для управления. Кроме того, их легко ремонтировать.

По конструкции различают кузнечные горны переносные и стационарные, открытого и закрытого типов, а по роду применяемого топлива – работающие на твердом, газообразном и жидком топливе. Горны закрытого типа имеют специальную камеру, в которой нагревают заготовки; в горнах открытого типа такая камера отсутствует.

*Горны на твердом топливе.* Более современными и удобными в изготовлении и ремонте являются стационарные горны открытого типа, изготовленные из металла и кирпича (рис. 1.11).

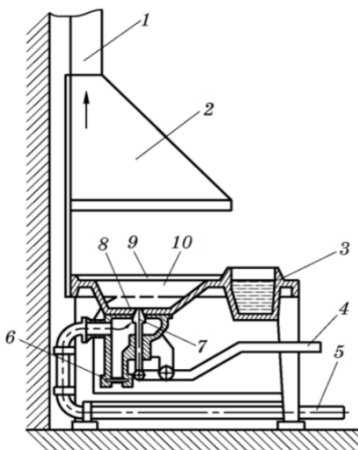


Рис. 1.11. Схема стационарного горна открытого типа:

- 1 – вытяжная труба; 2 – зонт; 3 – бачок с водой;  
4 – рычаг для регулирования подачи воздуха; 5 – воздухопровод;  
6 – заслонка; 7 – клапан; 8 – фурма; 9 – стол; 10 – очаг

Горны на твердом топливе просты в изготовлении и широко применяются в сельскохозяйственном производстве (мастерские колхозов, совхозов), а также переносного типа. Основным их недостатком является невозможность точного определения температуры нагрева и ее регулирование. Температура нагрева определяется по цвету нагретого металла.

*Горны на газовом топливе.* Стационарный горн закрытого типа, работающий на газе, применяют для нагрева концов небольших заготовок при изготовлении поковок гаек, болтов и других деталей типа стержней с головками. Благодаря более полному горению и удобству в эксплуатации и регулировании процесса горения в кузнечном производстве все шире используют газообразное топливо, в основном на машиностроительных и ремонтных заводах.

*Электрические печи.* Электрические печи сопротивления сходны с пламенными камерными печами, но вместо горелок на стенках, своде и поде печей устанавливают нагревательные элементы сопротивления, через которые пропускают электрический ток. Для нагрева заготовок до 650 °С–1150 °С применяют печи с нагревателями в виде спиралей сопротивления из нихрома или стали Х23Н18. Печи для нагрева до 1450 °С снабжают нагревательными элементами из вольфрамовой проволоки или другого материала с высоким удельным электрическим сопротивлением.

Электрические печи отличаются от пламенных меньшим окислением нагреваемого металла, компактностью и лучшими условиями работы за счет отсутствия печных газов. Кроме того, в них легко автоматизировать регулировку температуры и создавать защитную атмосферу.

К недостаткам электрических печей относятся сравнительно большой расход электроэнергии и низкая стойкость нагревателей, вследствие чего в кузнечном производстве они имеют ограниченное применение. Используют их в тех случаях, когда к качеству нагрева предъявляются особо высокие требования и при термообработке.

## 2. ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЫПОЛНЕНИЯ КУЗНЕЧНЫХ РАБОТ РУЧНОЙ КОВКОЙ

Основными этапами разработки технологического процесса ковки являются:

- составление чертежа поковки с назначением припусков, допусков и напусков и определение массы поковки;
- определение массы исходной заготовки;
- выбор вида исходной заготовки и определение ее размеров;
- выбор кузнечных операций и их последовательности, а также основного и вспомогательного инструмента и приспособлений;
- выбор режимов нагрева заготовок и охлаждения поковок;
- выявление дефектов ковки и возможные пути их устранения.

### 2.1. Составление чертежа поковки

Чертеж поковки кузнечного производства составляют по чертежу готовой детали. Конфигурация и размеры поковки должны обеспечивать получение из нее механической обработкой готовой детали.

Чертеж поковки отличается от чертежа готовой детали прежде всего размерами, которые изменены на величину припусков, допусков на кузнечную обработку и напусков.

*Припуск* – слой металла, который намеренно оставляют на поковке, чтобы обеспечить возможность дальнейшей обработки и получения готовой детали с нужными размерами и качеством поверхности. Припуск при ковке назначают для всей обрабатываемой поверхности поковки.

*Допуск* на кузнечную обработку – допустимое отклонение размеров поковки, обусловленное невозможностью изготовления ее с абсолютно точными размерами. Допуск равен разности между наименьшим и наибольшим предельными размерами поковки. Чем выше точность работы, тем меньше допуск.

Припуски и допуски взаимосвязаны. Увеличение припуска сопровождается увеличением допуска, а уменьшение припуска влечет за собой ужесточение допуска.

*Напуск* – дополнительный объем металла, увеличение припуска, который добавляется к поковке для упрощений ее формы, при невозможности или нерентабельности изготовления поковки по контуру детали. Это облегчает процесс ковки.

Обработка резанием послековки требуется лишь тогда, когдаковка не может обеспечить требуемого для готовой детали класса шероховатости поверхности или когда допуск на размер детали требуется более жесткий, чем тот, который может быть обеспечен ковкой. В этих случаях размер поковки должен быть или больше соответствующего наружного размера готовой детали, или меньше, если имеется в виду отверстие.

Основные типы поковок, а также величины назначаемых на них припусков, допусков на кузнечную обработку и напусков регламентируются государственными стандартами. Например, припуски и допуски на поковки из углеродистой и легированной сталей, изготавливаемых ковкой на молотах, определяет ГОСТ 7829–70. В этом стандарте все поковки разбиты на 17 групп; для каждой из групп в ГОСТ даны таблицы припусков и допусков. ГОСТ 7062–90 определяет припуски и допуски на поковки из тех же сталей, изготавливаемых на прессах. В этом стандарте поковки разбиты на 18 групп в соответствии с их геометрическими размерами и операциями, которые применяются для их изготовления. Для случаев, не предусмотренных этими стандартами, конфигурацию поковок, а также величину напусков, припусков и допусков на них обычно устанавливают по отраслевым стандартам или заводским нормам.

При разработке чертежа детали обычно стремятся к получению рациональной формы, при которой технологияковки значительно упрощается. Этого можно достичь назначением напусков. Особенно большое практическое значение имеют напуски при конструировании сложных по форме поковок (например, валов) с уступами и выемками.

## 2.2. Определение массы исходной заготовки

Для определения массы исходной заготовки первоначально определяем объем и массу поковки.

Для подсчета объема исходной заготовки  $V_{\text{пок}}$  суммируют объемы простых геометрических фигур ( $V_1 \dots V_n$ ), из которых она состоит:

$$V_{\text{пок}} = V_1 + V_2 + \dots + V_n. \quad (2.1)$$

Далее массу поковки  $M_{\text{пок}}$  определяют по формуле

$$M_{\text{пок}} = V_{\text{пок}}\rho, \quad (2.2)$$

где  $\rho$  – плотность металла поковки (для большинства марок сталей  $\rho = 7,86 \text{ г/см}^3$ ).

Объем исходной заготовки рассчитывают с учетом потерь металла на угар и обсежку по следующей формуле

$$V_{\text{исх}} = V_{\text{пок}} + V_{\text{уг}} + V_{\text{обс}},$$

где  $V_{\text{исх}}$  – объем исходной заготовки,  $\text{см}^3$ ;  $V_{\text{уг}}$  – объем потери металла на угар,  $\text{см}^3$ ;  $V_{\text{обс}}$  – объем потери металла на обсежку,  $\text{см}^3$ .

Суммарное значение объема потерь металла на угар и обсежку зависит от конфигурации поковки и может быть определено из равенства

$$V_{\text{уг}} + V_{\text{обс}} = V_{\text{пок}}\beta,$$

где  $\beta$  – относительная доля потерь на угар и обсежку от общего объема поковки.

Отсюда

$$V_{\text{исх}} = V_{\text{пок}} + \beta V_{\text{пок}} = V_{\text{пок}}(1 + \beta). \quad (2.3)$$

Значения величин  $\beta$  для поковок различной конфигурации представлены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Значения величины  $\beta$  для поковок различной конфигурации

Конфигурация поковки	$\beta$
Глухие фланцы, пластины, кубики, бруски	0,015–0,025
Фланцы с отверстием, хомуты, подвески, гайки	0,02
Гладкие валы, вилки	0,05–0,07
Валы и валики с односторонними уступами или фланцами, болты, шпонки, башмаки, траверсы, зубила кузнечные	0,07–0,10

Конфигурация поковки	$\beta$
Валы и валики с двусторонними уступами или буртиками, оси, шпиндели, тяги, серьги, скобы	0,10–0,15
Гаечные ключи, поковки типа шатунов	0,15–0,18
Рычаги, сложные шатуны, кривошипы	0,18–0,25
Коленчатые валы, рычаги кривые и двуплечие	0,25–0,30

Массу исходной заготовки  $M_{\text{исх}}$  определяют по формуле

$$M_{\text{исх}} = V_{\text{исх}} \rho. \quad (2.4)$$

### 2.3. Выбор вида исходной заготовки и определение ее размеров

Вид заготовки (прокат или слиток) в основном зависит от массы поковки и марки сплава. Так, при массе поковки вала свыше 700–800 кг и поковок типа колец и дисков больше 200 кг применяют слитки. В том случае, когда для поковок используют легированную сталь или сплав, то слитки применяют и для мелких поковок от 100 кг.

Если масса поковки не превышает несколько сотен килограммов, а материалом служит углеродистая сталь, то применяют прокат. Для заготовки под поковку следует использовать:

– прокат сортовой стальной горячекатаный круглый (ГОСТ 2590–2006) с диаметрами  $d_{\text{сорт}}$ , равными 5,0, 5,5, 6,0, 6,3, 6,5, 7,0, 8,0, 9,0, 10,0, 11,0, 12,0, 13,0, 14,0, 15,0, 16,0, 17,0, 18,0, 19,0, 20,0, 21,0, 22,0, 23,0, 24,0, 25,0, 26,0, 27,0, 28,0, 29,0, 30,0, 31,0, 32,0, 33,0, 34,0, 35,0, 36,0, 37,0, 38,0, 39,0, 40,0, 41,0, 42,0, 43,0, 44,0, 45,0, 46,0, 47,0, 48,0, 50,0, 52,0, 53,0, 54,0, 55,0, 56,0, 58,0, 60,0, 62,0, 63,0, 65,0, 67,0, 68,0, 70,0, 72,0, 73,0, 75,0, 78,0, 80,0, 82,0, 85,0, 87,0, 90,0, 92,0, 95,0, 97,0, 100,0, 105,0, 110,0, 115,0, 120,0, 125,0, 130,0, 135,0, 140,0, 145,0, 150,0, 155,0, 160,0, 165,0, 170,0, 175,0, 180,0, 185,0, 190,0, 195,0, 200,0, 210,0 и 220,0 мм;

– прокат сортовой стальной горячекатаный квадратный (ГОСТ 2591–2006) со сторонами квадрата, равными 6,0, 7,0, 8,0, 9,0, 10,0, 11,0, 12,0, 13,0, 14,0, 15,0, 16,0, 17,0, 18,0, 19,0, 20,0, 21,0,

22,0, 23,0, 24,0, 25,0, 26,0, 27,0, 28,0, 29,0, 30,0, 32,0, 34,0, 35,0, 36,0, 38,0, 40,0, 42,0, 45,0, 46,0, 48,0, 50,0, 52,0, 55,0, 58,0, 60,0, 63,0, 65,0, 70,0, 75,0, 80,0, 85,0, 90,0, 93,0, 95,0, 100,0, 105,0, 110,0, 115,0, 120,0, 125,0, 130,0, 135,0, 140,0, 145,0, 150,0, 160,0, 170,0, 180,0, 190,0, и 200,0 мм.

Диаметр исходной заготовки  $d_{\text{исх}}$  для круглого проката можно определить следующим образом. Площадь поперечного сечения исходной заготовки  $S_{\text{исх}}$  приравниваем к площади максимального поперечного сечения поковки после первой операции  $S_{\text{max}}$  с учетом коэффициента уковки  $Y_k$  ( $Y_k = 1,3\text{--}1,5$ ). Тогда

$$S_{\text{исх}} = S_{\text{max}} Y_k ,$$

Зная, что  $S_{\text{исх}} = \frac{\pi d_{\text{исх}}^2}{4}$ , получим

$$d_{\text{исх}} = \sqrt{\frac{4 S_{\text{max}} Y_k}{\pi}} . \quad (2.5)$$

Расчетное значение  $d_{\text{исх}}$  сравнивается со значением  $d_{\text{сорт}}$ . Если  $d_{\text{исх}}$  не равно  $d_{\text{сорт}}$ , то выбирается численное наиболее близкое значение  $d_{\text{сорт}}$  из условия  $d_{\text{сорт}} \geq d_{\text{исх}}$ .

Длина исходной заготовки  $L_{\text{исх}}$  определяется по формуле

$$L_{\text{исх}} = \frac{V_{\text{исх}}}{S_{\text{сорт}}} , \quad (2.6)$$

где  $S_{\text{сорт}}$  – площадь поперечного сечения сортового проката, равная

$$S_{\text{сорт}} = \frac{\pi d_{\text{сорт}}^2}{4} .$$

Аналогичным образом можно рассчитать сторону квадрата и длину для квадратного проката.

## 2.4. Выбор режимов нагрева заготовок при ковке.

### Охлаждение поковок

**Температура нагрева.** Температурный интервалковки для углеродистых сталей определяется по диаграмме состояния Fe–C (см. рис. 1.4).

При ручной ковке температура нагрева металла критически важна для успешной обработки. Недостаточный нагрев затрудняет деформацию, а перегрев или пережог ухудшают механические свойства металла, вызывая трещины, хрупкость или потерю прочности. При отсутствии пирометров кузнецы используют цвет каления металла как основной индикатор температуры. Знание цветовой шкалы и признаков перегрева позволяет точно контролировать процесс нагрева в горне. В табл. 2.2 приведены цвета каления с соответствующими температурами для углеродистых сталей.

*Таблица 2.2*

Цвета каления в зависимости от температуры нагрева углеродистых сталей

Цвет каления	Температура, °C	Применение в ковке
Темно-красный (слабый)	600–700	Недостаточно дляковки, подходит для легкой правки
Вишнево-красный	700–800	Подходит для гибки и правки
Ярко-красный	800–900	Подходит для протяжки и осадки
Оранжево-красный	900–1000	Оптимально для большинства операций (осадка, протяжка, прошивка)
Желто-оранжевый	1000–1150	Подходит для сложных операций (раздача, локальная обработка)
Ярко-желтый	1150–1250	Верхний пределковки, риск перегрева
Белый (с искрами)	свыше 1250–1300	Пережог, недопустим дляковки

Для равномерного прогрева заготовку помещают в зону умеренного жара горна (чуть в стороне от центра) и поворачивают каждые 30–60 с.



Цвет проверяют каждые 1–2 мин, особенно для небольших заготовок (например, прутков диаметром 20–30 мм), которые нагреваются быстро. Если цвет приближается к ярко-желтому, извлекают заготовку и дают ей остыть до оранжево-красного.

Для минимизации образования окалины при нагреве до 900 °С и выше заготовку посыпают бурой. Для регулирования температуры в горне уменьшают или увеличивают подачу воздуха.

При определении цвета заготовку вынимают из горна клещами и проводят оценку в затемненной зоне (вдали от света горна), т. к. яркий свет может исказить восприятие цвета.

Таким образом, оптимальный диапазон дляковки составляет 900 °С–1150 °С (оранжево-красный до желто-оранжевого цвета). Перегрев (ярко-желтый, свыше 1150 °С) и пережог (белый с искрами, свыше 1250 °С) предотвращаются регулярной проверкой цвета, равномерным нагревом, умеренной подачей воздуха и использованием флюса (буры). Эти меры обеспечивают пластичность стали и высокое качество поковки.

**Время нагрева.** Хотя в ручной ковке углеродистой стали основной контроль температуры нагрева осуществляется по цвету калиения заготовки, расчет времени нагрева полезен как ориентир для обеспечения равномерного прогрева внутри заготовки, особенно для толстых сечений (диаметром более 50 мм), и помогает новичкам избежать недогрева или перегрева.

Общее время нагрева заготовок в горне складывается из времени подогрева (предварительный этап нагрева до температуры 700 °С– 750 °С для предотвращения образования трещин) и технологического времени нагрева до ковочной температуры (900 °С–1150 °С).

Время подогрева (мин) вычисляется по эмпирическим формулам:

– для круглого проката:

$$\tau_{\text{п}} = 0,3d; \quad (2.7)$$

– для квадратного проката:

$$\tau_{\text{п}} = 0,4a, \quad (2.8)$$

где  $d$  и  $a$  – диаметр и сторона квадрата соответственно, см.

Для высокоуглеродистых сталей время подогрева, рассчитанное по формулам (2.7) и (2.8) увеличивают в 2–3 раза.

Технологическое время нагрева в горне (мин) вычисляют по эмпирической формуле:

$$\tau = Kd, \quad (2.7)$$

где  $d$  – диаметр проката (сторона квадрата), см;  $K$  – коэффициент, зависящий от содержания углерода в стали: для низкоуглеродистой –  $K = 2,5\text{--}3$  мин/см, для среднеуглеродистой –  $K = 3\text{--}4$  мин/см, для высокоуглеродистой –  $K = 4\text{--}5$  мин/см.

**Охлаждение поковок.** Важный этап технологического процесса, который влияет на структуру металла, снятие остаточных напряжений и предотвращение дефектов (трещин, коробления) – **охлаждение поковок** послековки. Для углеродистой стали режим охлаждения выбирается в зависимости от марки стали, размеров поковки и требуемых механических свойств. В ручной ковке охлаждение обычно осуществляется на воздухе, в печи или в специальных средах, с целью получения оптимальной микроструктуры и минимизации внутренних напряжений.

## 2.5. Кузнечные операции и инструменты

### 2.5.1. Выбор операций и инструмента дляковки

Выбор последовательности операций при ковке определяется геометрией поковки, свойствами материала, требованиями к изделию и возможностями оборудования.

Поковки, изготавливаемые методомковки, можно условно разделить на следующие основные типы на основе их формы и геометрических характеристик: удлиненные поковки (валы, оси, стержни и др.); плоские поковки (диски, плиты, кольца, фланцы без сложных выступов и др.); сложные поковки (фланцы с утолщениями, крестовины, крюки, вилки и др.); тонкостенные поковки (втулки, корпуса, кожухи и др.).

В табл. 2.3 для каждого типа поковок приведены последовательность основных операций ручнойковки и кузнечный инструмент для их осуществления.

Таблица 2.3

Операции и инструмент ручнойковки для различного типа поковок

Тип поковок	Основные операции	Инструмент
Удлиненные	Осадка (при необходимости)	Кувалда, наковальня с плоской поверхностью, клещи
	Протяжка	Кувалда, наковальня с плоской поверхностью или одно-, двурога; клещи
	Правка	Кувалда, наковальня, шаблон, клещи
	Отрубка (при необходимости)	Зубило, кувалда, наковальня
Плоские	Осадка	Кувалда, наковальня с плоской поверхностью, клещи
	Прошивка (для колец)	Прошивень, кувалда, наковальня с отверстием
	Раскатка (для колец)	Оправка (коническая или цилиндрическая), кувалда, наковальня, клещи
	Правка	Кувалда, наковальня, шаблон
Сложные	Осадка	Кувалда, наковальня, клещи
	Протяжка	Кувалда, наковальня с плоской поверхностью или одно-, двурога; клещи
	Гибка или протяжка с локальной деформацией	Кувалда, наковальня одно- или двурога, клещи
	Правка	Кувалда, наковальня, шаблон
	Отрубка (при необходимости)	Зубило, кувалда, наковальня
Тонкостенные	Осадка	Кувалда, наковальня, клещи
	Протяжка	Кувалда, наковальня, оправка
	Раскатка	Оправка, кувалда, клещи
	Правка	Кувалда, наковальня, шаблон

При машинной ковке в качестве опорного и ударного инструмента используются плоские или выгнутые бойки пневматического молота.

### **2.5.2. Порядок и особенности выполнения основных кузнечных операций**

Ручнаяковка стали требует точного выполнения операций для получения качественных поковок без дефектов. Основные операции – осадка, протяжка, прошивка, раскатка, гибка, правка и отрубка – выполняются с использованием ручного инструмента (молот, кувалда, наковальня, клещи, оправки) и зависят от мастерства кузнеца, правильного нагрева ( $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $1150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и последовательности действий. Каждая операция имеет свои особенности, которые обеспечивают точность формы, сохранение структуры металла и безопасность процесса.

Порядок выполнения, техника, инструменты и особенности каждой операции для ручнойковки сталей, а также примеры их осуществления, приведены ниже.

**Осадка** – уменьшение высоты заготовки с увеличением поперечного сечения для подготовки материала к дальнейшей обработке или формирования утолщений.

*Порядок выполнения.* Нагревают заготовку в горне до температуры  $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $1150\text{ }^{\circ}\text{C}$  (оранжево-красный до желто-оранжевого цвета), проверяя цвет в тени каждые 1–2 мин. Помещают заготовку вертикально на плоскую поверхность наковальни, удерживая клещами. Наносят равномерные удары кувалдой (3–5 кг) или ручником (1–2 кг) по верхнему торцу заготовки. Поворачивают заготовку на  $90^{\circ}$  после 2–3 ударов для равномерного распределения материала. Проверяют форму и размеры шаблоном после каждого прохода (2–4 прохода).

*Инструменты:* кувалда, ручник, наковальня с плоской поверхностью, клещи.

*Особенности проведения операции:*

- для предотвращения образования складок следует избегать нанесения ударов чрезмерной силы;
- для предотвращения перегрева и образования трещин необходимо поддерживать температуру нагрева до  $1150\text{ }^{\circ}\text{C}$ , для избежания охрупчивания поковки, ее нагрев не должен превышать  $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- для крупных заготовок (диаметром более 50 мм) во избежание возникновения внутренних напряжений необходимо проводить операцию постепенно.

При выполнении осадки необходимо осуществлять контроль равномерности сечения и отсутствия трещин визуально и при помощи шаблона.

*Пример:* для заготовки диаметром 30 мм и длиной 100 мм (сталь 45) осадка до высоты 60 мм осуществляется за 3–4 прохода с поворотом на 90° при температуре нагрева 1000 °С.

**Протяжка** – удлинение заготовки с уменьшением поперечного сечения для формирования стержней, валов или других удлиненных элементов.

*Порядок выполнения.* Нагревают заготовку до 900 °С–1100 °С (оранжево-красный цвет), поворачивая в горне каждые 30–60 с. Размещают заготовку горизонтально на плоской поверхности наковальни. Наносят последовательные удары ручником или кувалдой, начиная от центра и двигаясь к краям. Поворачивают заготовку на 90° после каждого прохода (4–8 проходов в зависимости от требуемого удлинения). Проверяют диаметр штангенциркулем или шаблоном.

*Инструменты:* ручник, кувалда, наковальня (плоская или однорогая), клещи.

*Особенности проведения операции:*

- для обеспечения равномерного сечения и предотвращения искривления проводят частый поворот заготовки на 90°;

- во избежание появления складок или трещин наносят несильные удары;

- для сложных по форме поковок, например, с утолщениями, наносят локальные удары, используя рог наковальни;

- осуществляют повторный нагрев в горне при снижении температуры заготовки ниже 800 °С (потемнение до вишнево-красного цвета).

При выполнении протяжки необходимо осуществлять контроль формы и размеров заготовки после каждого прохода, а также следить за отсутствием трещин и складок.

*Пример:* для получения стержня диаметром 20 мм и длиной 300 мм из заготовки диаметром 30 мм (сталь 45) протяжку осуществляют за 6–8 проходов с поворотом на 90° при температуре 1000 °С.

**Прошивка** – получение отверстий в поковке, например, для колец или втулок, путем вытеснения материала.

*Порядок выполнения.* Нагревают заготовку до температуры 1000 °С–1100 °С (желто-оранжевый цвет), обеспечивая равномерный прогрев. Помещают заготовку на наковальню с отверстием. Устанавливают прошивень (ручной или с рукояткой) в центре будущей выемки. Наносят удары кувалдой по прошивню, постепенно углубляя его. Поворачивают заготовку для равномерной прошивки.

*Инструменты:* прошивень, кувалда, наковальня с отверстием, клещи.

*Особенности проведения операции:*

- для получения отверстия четко по центру заготовки необходимо точное позиционирование прошивня;
- во избежание образования трещин необходимо проводить операцию прошивки медленно;
- для защиты поверхности от окалины при высоких температурах используют буру.

При выполнении прошивки диаметр и глубину отверстия проверяют шаблоном и следят за целостностью стенок.

*Пример:* для получения отверстия диаметром 20 мм в заготовке диаметром 50 мм (сталь 20) прошивку осуществляют за 2–3 прохода с использованием прошивня при температуре нагрева 1050 °С.

**Раскатка** – увеличение диаметра отверстия или утонение стенок (например, для колец или втулок) с использованием оправки.

*Порядок выполнения.* Нагревают заготовку с прошитым отверстием до температуры 1000 °С–1100 °С (желто-оранжевый цвет). Надевают заготовку на коническую или цилиндрическую оправку, удерживая клещами. Наносят равномерные удары ручником по внешней поверхности, поворачивая заготовку. Проверяют диаметр отверстия шаблоном после 2–3 проходов.

*Инструменты:* оправка (коническая или цилиндрическая), ручник, клещи, наковальня.

*Особенности проведения операции:*

- во избежание появления разрывов или складок раскатку проводят постепенно;
- при изготовлении тонкостенных поковок используют легкие удары.

При выполнении раскатки проверяют равномерность стенок и диаметр отверстия и следят за отсутствием трещин.

*Пример:* для получения кольца с наружным диаметром 150 мм и толщиной стенки 15 мм из исходной заготовки диаметром 50 мм (сталь 20), раскатку осуществляют на конической оправке после предварительной прошивки (отверстие диаметром 20–30 мм) за 3–4 прохода при температуре 1050 °С.

**Гибка** – придание заготовке изогнутой формы, например, для крюков, скоб или дугообразных элементов, путем деформации на наковальне или оправке.

*Порядок выполнения.* Нагревают заготовку до температуры 900 °С–1100 °С (оранжево-красный до желто-оранжевого цвета), обеспечивая равномерный прогрев зоны изгиба. Помещают заготовку на наковальню (на рог или плоскую часть) или над оправкой, соответствующей желаемой форме. Наносят легкие удары ручником или кувалдой, постепенно изгибая заготовку, удерживая ее клещами. Поворачивают заготовку для равномерного изгиба, проверяя форму шаблоном после 2–3 проходов. При необходимости проводят повторный нагрев, чтобы сохранить пластичность.

*Инструменты:* ручник, кувалда, наковальня (с рогом или выемкой), оправка, клещи, шаблоны.

*Особенности проведения операции:*

- во избежание деформации других участков, нагревают только зону подлежащую изгибу;

- для плавных изгибов используют рог наковальни, а для получения сложных форм, например, кольца или крюка, – соответствующую оправку;

- для предотвращения образования складок или трещин избегают резких ударов;

- нагрев заготовок из высокоуглеродистых сталей, например, У8, проводят при температуре до 1000 °С–1100 °С.

При выполнении гибки проверяют угол и радиус изгиба шаблоном или угольником и следят за отсутствием трещин.

*Пример:* для изготовления крюка из стержня диаметром 20 мм (сталь 45) гибку проводят на роге наковальни с использованием шаблона за 2–3 прохода при температуре 1000 °С.

**Правка** – корректировка формы поковки для устранения искривлений или неровностей.

*Порядок выполнения.* Нагревают заготовку до температуры 800 °С–900 °С (ярко-красный цвет) для придания пластичности. Помещают поковку на плоскую поверхность наковальни. Наносят легкие удары ручником, контролируя с помощью шаблона или линейки. Поворачивают поковку для равномерной корректировки.

*Инструменты:* ручник, наковальня, шаблоны, линейка, штангенциркуль.

*Особенности проведения операции:*

- во избежание образования трещин правку проводят только в нагретом состоянии заготовки;

- для сложных поковок нагрев осуществляют несколько раз;
- для предотвращения дополнительного деформирования поковки избегают нанесения чрезмерных ударов.

При выполнении правки форму поковки проверяют шаблоном или измерительными инструментами после каждого прохода.

*Пример:* для правки искривленного стержня диаметром 20 мм (сталь 45) требуется 2–3 прохода с использованием шаблона при температуре 850 °С.

**Отрубка** – удаление излишков материала или дефектных участков послековки.

*Порядок выполнения.* Охлаждают поковку до температуры ниже 600 °С (темно-красный цвет или ниже) или для облегчения процесса его осуществляют с горячей заготовкой (температура 900 °С–1000 °С). Помещают поковку на наковальню. Устанавливают зубило на место среза и наносят удары кувалдой. Качество среза контролируют визуально.

*Инструменты:* зубило, кувалда, наковальня, клещи.

*Особенности проведения операции:*

- чтобы не повредить поковку при горячей отрубке (температура 900–1000 °С) наносят несильные удары;
- при холодной отрубке снижается риск дополнительной деформации, но требуется приложение больших усилий;
- чтобы избежать лишних повреждений, необходимо точное позиционирование зубила.

При выполнении отрубки проверяют срез на отсутствие трещин и неровностей.

*Пример:* для удаления излишков с поковки (сталь 20) отрубка проводится зубилом за 1–2 прохода при температуре 950 °С.

## **2.6. Выявление дефектов поковок и возможные пути их устранения**

Дефекты поковок, возникающие в процессе ручнойковки, могут ухудшить механические свойства изделий, привести к браку или усложнить дальнейшую обработку. Выявление дефектов и их устранение – ключевой этап обеспечения качества поковок. Основные дефекты связаны с нарушением температурного режима,



неправильной техникой ковки или свойствами материала. Своевременное обнаружение и корректировка позволяют минимизировать потери и повысить качество изделий.

Основными дефектами поковок при ручной ковке являются трещины, складки, коробление, окалина, недостаточная проковка и пережог.

**Трещины** – разрывы металла на поверхности (поверхностные трещины) или внутри (внутренние трещины) поковки, часто с неровными краями.

Причинами возникновения этого дефекта могут быть:

- перегрев (при температуре выше 1150 °С–1250 °С), приводящий к росту зерна и хрупкости;
- пережог (при температуре выше 1250 °С–1300 °С), вызывающий выгорание углерода и пористость;
- недостаточный нагрев (при температуре ниже 800 °С), при котором не достигается требуемая пластичность металла;
- большие ударные нагрузки (например, при осадке);
- быстрое охлаждение после ковки, вызывающее термические напряжения.

Установить наличие этого дефекта можно следующими методами:

- визуальным осмотром (трещины проявляются в виде тонких линий или «волосков» на поверхности поковки;
- простукивание молотком (глухой звук указывает на наличие внутренних трещин);
- магнитной дефектоскопией или ультразвуком (для ответственных поковок).

Для устранения поверхностных трещин повторно нагревают поковку до температуры 900 °С–1100 °С и проводят правку для их замыкания. В случае возникновения глубоких трещин вырубает дефектный участок зубилом и проводят повторную ковку. Если трещины вызваны пережогом, заготовка является браком и непригодна для использования.

**Складки** – местные утолщения или наплывы металла, часто в виде волн или загибов на поверхности поковки.

Причинами возникновения этого дефекта могут быть:

- неправильный выбор последовательности операций (например, чрезмерная осадка без протяжки);

- неравномерная деформация при ковке сложных поковок;
- недостаточный нагрев, при котором не достигается требуемая пластичность металла и металл вместо равномерного распределения «зажимается», образуя складки.

Установить наличие этого дефекта можно следующими методами:

- визуальным осмотром (складки проявляются как неровности или волны на поверхности);
- использованием шаблонов путем измерения отклонений от заданной формы.

Для устранения складок повторно нагревают поковку до температуры 900 °С–1000 °С и проводят протяжку для распределения материала, а при появлении мелких складок – правку легкими ударами молота.

**Коробление** – отклонение формы поковки от заданной геометрии.

Причинами возникновения этого дефекта могут быть:

- неравномерное охлаждение послековки (например, быстрое охлаждение одной стороны);
- несимметричная деформация при ковке (например, нанесение ударов только с одной стороны);
- неправильная правка после основных операций.

Установить наличие этого дефекта можно визуальным осмотром или использованием шаблонов и измерением размеров штангенциркулем либо угольником.

Для устранения коробления повторно нагревают поковку до температуры 800 °С–900 °С и проводят правку на наковальне с использованием шаблонов, а для крупных поковок – постепенную правку с несколькими нагревами.

**Окалина** – слой оксидов на поверхности поковки, ухудшающий качество поверхности и приводящий к потере материала.

Причинами возникновения этого дефекта могут быть:

- длительный нагрев в горне, особенно при избыточной подаче воздуха;
- недостаточная защита поверхности заготовки при нагреве (отсутствие флюса, например, буры).

Установить наличие этого дефекта можно следующими методами:

- визуальным осмотром (окалина выглядит как черный или серый налет, отслаивающийся при ударах);
- измерением массы (потеря массы не должна превышать 0,5 кг с единицы поверхности (м<sup>2</sup>) за 1 ч нагрева).

Для удаления окалина после охлаждения поковки проводят механическую очистку проволочной щеткой или зубилом, а для ответственных поковок – пескоструйную обработку.

**Недостаточная проковка** – участки поковки с крупнозернистой структурой из-за недостаточной деформации, что снижает прочность и пластичность.

Причинами возникновения этого дефекта могут быть:

- недостаточное количество проходов при протяжке или осадке;
- недостаточный нагрев при ковке (менее 800 °С).

Установить наличие этого дефекта можно следующими методами:

- визуальным осмотром (грубая поверхность, отсутствие характерного «глянца» прокованного металла);
- макроструктурным анализом на образцах, подвергнутых шлифованию и травлению, для выявления крупнозернистой структуры (для ответственных поковок).

Для устранения этого дефекта поковку нагревают до температуры 900 °С–1100 °С и проводят повторную ковку с 3–5 проходами.

**Пережог** – необратимое разрушение структуры металла за счет выгорания углерода, приводящего к появлению пористости и возрастанию хрупкости.

Причинами возникновения этого дефекта могут быть:

- нагрев заготовки выше температуры 1250 °С–1300 °С;
- длительный нагрев заготовки в зоне максимальной температуры горна.

Установить наличие этого дефекта можно следующими методами:

- визуальным осмотром (искры при нагреве, пористая или «пузырчатая» поверхность поковки);
- простукиванием (поковка крошится или ломается при ударах).

Пережог является неустранимым дефектом, заготовка является браком и непригодна для использования.

Таким образом, выявление дефектов поковок (трещины, складки, коробление, окалина, недостаточная проковка, пережог) и их устранение требуют внимательного контроля на всех этапах ручнойковки. Основные меры включают поддержание оптимальной температуры нагрева, правильную техникуковки и выбор подходящего режима охлаждения. Своевременное обнаружение дефектов и их корректировка обеспечивают высокое качество поковок и минимизируют брак.

## 2.7. Термическая обработка поковок

Термическая обработка стальных поковок при ручной ковке необходима для улучшения механических свойств (прочности, твердости, пластичности), снятия внутренних напряжений и предотвращения образования дефектов, таких как трещины или коробление. Основные виды термической обработки – отжиг, нормализация, закалка и отпуск – выполняются в горне с учетом температуры нагрева (контролируемой по цвету каления) и режимов охлаждения. Правильный выбор режима термической обработки зависит от марки стали, размеров поковки и требований к изделию.

Порядок выполнения, техника, режимы охлаждения и особенности каждого вида термической обработки при ручной ковке углеродистой стали приведены ниже.

**Отжиг** – нагрев поковки с последующим медленным охлаждением для снятия внутренних напряжений, повышения пластичности и подготовки к дальнейшей обработке, например, механической.

**Порядок выполнения.** Нагревают поковку в горне до температуры 800 °С–850 °С (ярко-красный цвет), проверяя цвет в тени каждые 1–2 мин. Для предотвращения роста зерна необходимо избегать нагрева свыше 900 °С. Выдерживают поковку при этой температуре 10–30 мин в зависимости от размера (1 мин на 1 мм толщины поковки). Помещают поковку в золу, песок или оставляют в горне с постепенно угасающим жаром для медленного охлаждения со скоростью 10–50 °С/ч до комнатной температуры.

Такой вид термообработки может проводиться для всех углеродистых сталей, особенно для крупных поковок из средне- и высокоуглеродистых сталей.

**Нормализация** – нагрев поковки с последующим охлаждением на воздухе для получения мелкозернистой структуры, баланса прочности и пластичности.

**Порядок выполнения.** Нагревают поковку до температуры 850 °С–900 °С (ярко-красный до оранжево-красного цвета), обеспечивая равномерный прогрев. Выдерживают 5–15 мин (0,5–1,0 мин на 1 мм толщины). Извлекают поковку и охлаждают на воздухе со скоростью 0,5–2,0 °С/с.

Данный вид термообработки применяется для низко- и среднеуглеродистых сталей для нормализации структуры послековки.

**Закалка** – быстрое охлаждение после нагрева для повышения твердости и прочности за счет образования аустенитной структуры.

*Порядок выполнения.* Нагревают поковку до температуры 800 °С–850 °С (ярко-красный цвет) для низко- и среднеуглеродистых сталей и до температуры 760 °С–800 °С (вишнево-красный цвет) для высокоуглеродистых. Выдерживают при этих температурах 5–10 мин (0,5 мин на 1 мм толщины) для равномерного прогрева. Быстро погружают поковку в закалочную среду: для высокоуглеродистых сталей – в воду, для среднеуглеродистых – в масло. Охлаждение низкоуглеродистых сталей производят на воздухе.

После закалки для снятия внутренних напряжений проводится отпуск поковок.

**Отпуск** – нагрев закаленной поковки с последующим медленным охлаждением для получения требуемого комплекса свойств.

*Порядок выполнения.* Нагревают закаленную поковку в зависимости от марки стали и требуемых механических свойств до следующих температур: 200 °С–300 °С (низкий отпуск) для высокоуглеродистых сталей с целью снижения внутренних напряжений без уменьшения твердости закаленной стали; 300 °С–450 °С (средний отпуск) для среднеуглеродистых сталей с целью получения высоких упругих свойств; 450 °С–600 °С (высокий отпуск) для низкоуглеродистых сталей с целью повышения пластичности и ударной вязкости. Выдерживают при заданных температурах 10–20 мин (1 мин на 1 мм толщины) и охлаждают на воздухе или в золе со скоростью 0,5–2,0 °С/с.

### 3. КУЗНЕЧНО-ТЕРМИЧЕСКАЯ МАСТЕРСКАЯ КАФЕДРЫ

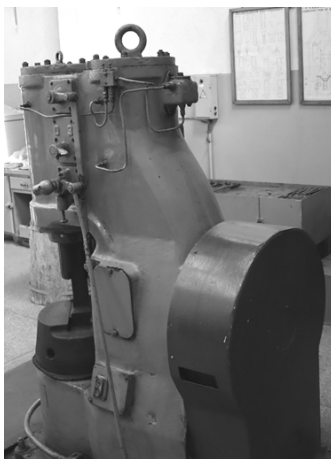
Кузнечно-термическая учебная мастерская общей площадью 180 м<sup>2</sup> оснащена вытяжной вентиляцией, необходимыми приспособлениями, инструментом и оборудованием дляковки.

Общий вид кузнечно-термической мастерской кафедры технологии металлов представлен на рис. 3.1.



*Рис. 3.1.* Общий вид кузнечно-термической мастерской

В кузнечно-термической мастерской кафедры установлены два пневматических молота двойного действия: МА 411 с массой ударных частей 75 кг (рис. 3.2) и МА 412 с массой ударных частей 150 кг.



*Рис. 3.2.* Внешний вид пневматического молота МА 411

Для нагрева заготовок в процессековки в мастерской установлен стационарный горн открытого типа с вытяжной вентиляцией, работающий на твердом топливе – древесном угле (рис. 3.3). Кроме того, в мастерской для нагрева при ковке и термической обработки размещена электрическая печь СНО-4-8-2,5/10.



*Рис. 3.3. Внешний вид горна открытого типа на твердом топливе*

Для выполнения кузнечных операций в мастерской оборудовано пять рабочих мест с установленными однорогими наковальнями (рис. 3.4).



*Рис. 3.4. Внешний вид рабочего места кузнеца с однорогой наковальней*

Для проведения операций термической обработки поковок мастерская оборудована ванной для различных охлаждающих жидкостей с вытяжной вентиляцией (рис. 3.5).



*Рис. 3.5.* Внешний вид ванны для термической обработки поковок

В учебной кузнечно-термической мастерской имеется необходимый дляковки основной, вспомогательный и контрольно-измерительный инструмент, а также специальная одежда и средства защиты кузнеца для выполнения кузнечных операций.



#### **4. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ КУЗНЕЧНЫХ РАБОТ**

Кузнечные работы, выполняемые в рамках учебной ознакомительной инженерной практики в кузнечно-термической мастерской, связаны с высокими температурами, механическими операциями и потенциально опасным оборудованием. Соблюдение техники безопасности предотвращает травмы, ожоги, отравление угарным газом и повреждение оборудования. Основные риски включают ожоги от горячих заготовок, травмы от ударов молота, возгорания, а также опасность, связанную с работой пневматического молота. Знание обязательных мер техники безопасности при выполнении кузнечных работ позволяет обеспечить защиту как самого кузнеца, так и окружающих от выше описанных рисков.

Техника безопасности при кузнечных работах в учебной мастерской включает правильную организацию рабочего места, использование средств индивидуальной защиты, безопасную эксплуатацию горна и пневматического молота, а также безопасное выполнение кузнечных операций при ручной ковке.

**Правильная организация рабочего места.** Для обеспечения безопасных условий труда кузнеца горн, пневматический молот и наковальня должны быть установлены устойчиво, на ровном негорючем полу. При этом расстояние между ними должно составлять не менее 1,5–2 м.

Рабочее место кузнеца обязано находиться в хорошо проветриваемом помещении и быть оборудованным вытяжной вентиляцией для удаления угарного газа и дыма.

Рабочая зона мастерской должна иметь достаточное освещение с предусмотренным отдельным затемненным участком для контроля цвета каления заготовки.

Рабочее место обязано быть организовано так, чтобы исключить загромождение инструментами, заготовками и посторонними предметами.

Инструменты (клещи, ручник, кувалда и др.) должны располагаться на стеллаже или верстаке. Уголь, буру и горючие материалы (например, масло для закалки) необходимо хранить в металлических емкостях на расстоянии не менее 3 м от горна.

В кузнечной мастерской обязательно наличие средств пожаротушения (огнетушитель, песок, асбестовое полотно) и аптечки первой помощи.

**Использование средств индивидуальной защиты (СИЗ).** Кузнец должен работать в спецодежде, спецобуви и в случае необходимости использовать другие СИЗ.

Спецодежда кузнеца, предназначенная для защиты от искр и окалины, должна изготавливаться из огнестойкого материала (брезент и др.). При работе обязательно использование фартука из толстой кожи или огнестойкого материала.

Запрещается работать в синтетической или легковоспламеняющейся одежде, с голыми руками или открытыми участками тела. Для защиты рук от ожогов и механических повреждений необходимо использовать перчатки (краги) из толстой кожи или термоустойчивого материала.

Для защиты ног от падения заготовок или инструментов обувь кузнеца должна быть закрытой, с толстой подошвой и защитным металлическим носком.

Для защиты глаз от искр, окалины и брызг воды/масла кузнец должен работать в защитных очках. Кроме того, при длительной работе для защиты дыхательных путей от угольной пыли и угарного газа необходимо использовать респиратор.

При работе пневматического молота для защиты органов слуха должны использоваться противошумные наушники.

**Обеспечение безопасности при работе с горном.** Перед началом работы необходимо проверить исправность горна: целостность огнеупорной кладки, состояние фурмы, колосниковой решетки и поддувала; убедиться, что дымоход или вытяжка над горном функционируют для эффективного удаления угарного газа и дыма; очистить горн от золы и шлака для предотвращения их возгорания или засорения фурмы.

Для обеспечения пожарной безопасности при образовании случайных искр или возгораний ведро с водой, песок или огнетушитель должны располагаться вблизи горна (на расстоянии 1–2 м). В случае возгорания угля или окружающей зоны необходимо использовать огнетушитель или песок; при сильном пожаре нужно покинуть мастерскую и вызвать пожарную службу. Необходимо

избегать хранения горючих материалов (масло для заковки, дерево, ветошь) ближе 3 м от горна. Во избежание образования чрезмерного пламени, которое может привести к выбросу искр, нужно регулировать подачу воздуха в горн.

При появлении признаков отравления (головная боль, головокружение, тошнота) необходимо немедленно покинуть зону горна, обеспечить приток свежего воздуха и обратиться за медицинской помощью, а при ожоге немедленно охладить пораженный участок холодной водой (10–15 минут) и обратиться к врачу.

**Обеспечение безопасности при работе с пневматическим молотом (МА 411).** Перед началом работы необходимо проверить исправность пневматического молота: состояние кривошипного вала, воздухораспределительного механизма, крепления бойков и отсутствие утечек в системе; убедиться, что верхний боек не имеет трещин; проверить ременную передачу от электродвигателя, исключая провисание или повреждение ремня.

При работе разрешается использовать пневматический молот только для предназначенных операций (осадка, вытяжка, прошивка), избегая других операций, в том числе штамповки в закрытых штампах. При использовании молота необходимо постоянно удерживать заготовку клещами, не подставляя руки под боек. Во время работы во избежание перегрева механизма запрещается использовать частоту ударов молота, превышающую 200 ударов в минуту. При регулировке режимов работы (холостой ход, одиночные удары, автоматические удары) необходимо избегать резких переключений. При появлении вибраций или необычных звуков нужно немедленно остановить молот и проверить его состояние. После работы необходимо отключить электродвигатель и очистить боек от окалины.

При работе молота запрещается нахождение посторонних в радиусе 2–3 м.

**Обеспечение безопасного выполнения кузнечных операций.** Кузнечные операции, такие как осадка, протяжка, прошивка, раздача, гибка, правка и отрубка, связаны с рисками ожогов от горячих заготовок (900 °С–1150 °С), травм от ручных инструментов или молота, брызг окалины и вибраций оборудования. Обеспечение безопасности кузнеца требует использования СИЗ, строгого

соблюдения техники выполнения операций, контроля температуры нагрева и состояния оборудования. Ниже описаны меры безопасности для каждой кузнечной операции, адаптированные для ручнойковки, чтобы минимизировать травмы, ожоги и повреждение оборудования, обеспечивая высокое качество поковок.

*Осадка*, заключающаяся в уменьшении высоты заготовки с увеличением ее поперечного сечения, сопряжена с рисками ожогов от горячей заготовки, травм от ударов кувалдой или пневматическим молотом и выскальзывания заготовки из клещей. Заготовку следует надежно фиксировать клещами с длинными ручками (50–80 см), подбирая губки под сечение заготовки (круглое или квадратное). При использовании пневматического молота рекомендуется работать в режиме одиночных ударов для точного контроля, удерживая заготовку на безопасном расстоянии от бойка. Удары кувалдой следует наносить равномерно, избегая резких движений, чтобы предотвратить выскальзывание заготовки. Зона вокруг наковальни (радиус 2 м) должна быть свободна от посторонних лиц и предметов.

*Протяжка*, направленная на удлинение заготовки с уменьшением ее поперечного сечения, связана с рисками ожогов, травм от ручного или пневматического молота и искривления заготовки, которое может привести к ее выскальзыванию. Заготовку необходимо надежно удерживать клещами, проверяя фиксацию перед каждым проходом. При работе с пневматическим молотом начинать операцию рекомендуется с одиночных ударов для настройки, переходя к автоматическому режиму для равномерной деформации. Ручник перед работой следует проверить на отсутствие трещин в рукоятке. Зона вокруг наковальни должна быть свободна от посторонних. Если заготовка искривляется, вызывая нестабильность, необходимо остановить молот и перехватить ее клещами. При попадании искр в глаза следует немедленно промыть их водой и обратиться к врачу.

*Прошивка*, заключающаяся в создании отверстий в заготовке путем вытеснения материала, сопряжена с рисками ожогов, травм от ударов по пуансону, выскальзывания пуансона или заготовки, и брызг окалины. Прошивной пуансон с прочной рукояткой необходимо проверить на отсутствие трещин перед работой. Нужно фиксировать заготовку клещами на наковальне с отверстием,

избегая удержания прошивня руками. При использовании пневматического молота следует работать в режиме прижима или одиночных ударов, точно позиционируя прошивень. Для уменьшения образования окалины и искр необходимо использовать буру. Зона вокруг наковальни должна быть свободна. При застревании прошивня, нужно остановить молот, охладить заготовку и извлечь прошивень клещами. При ожоге от искр следует охладить пораженный участок водой.

*Раскатка*, направленная на увеличение диаметра отверстия или утонение стенок поковки, связана с рисками ожогов, травм от выскальзывания заготовки с оправки и повреждения оправки при ударах пневматическим молотом. Оправку (коническую или цилиндрическую) следует проверить на отсутствие трещин и заусенцев перед работой. Необходимо надежно фиксировать заготовку на оправке клещами и наносить легкие удары ручником или использовать пневматический молот в режиме прижима.

*Гибка*, заключающаяся в придании заготовке изогнутой формы, сопряжена с рисками ожогов, травм от скольжения заготовки на роге наковальни и повреждений от неточных ударов пневматическим молотом. Рог наковальни или оправку нужно проверить на отсутствие заусенцев и повреждений. Необходимо фиксировать заготовку клещами, плотно прижимая к рогу наковальни или оправке, и наносить точные удары ручником. При использовании пневматического молота операцию следует выполнять в режиме одиночных ударов для контроля. Если заготовка соскальзывает, необходимо остановить молот и перехватить ее клещами.

*Правка*, направленная на устранение искривлений поковки, связана с рисками ожогов, травм от неточных ударов молотом и выскальзывания заготовки из-за искривления. Необходимо фиксировать поковку клещами на плоской поверхности наковальни, избегая скольжения, и наносить легкие удары ручником. При использовании пневматического молота следует работать в режиме прижима для точной корректировки. Зона вокруг наковальни должна быть свободна от посторонних предметов. Если искривление вызывает выскальзывание, необходимо перехватить поковку клещами и продолжать правку после дополнительного нагрева.

*Отрубка*, заключающаяся в удалении излишков материала или дефектных участков, сопряжена с рисками ожогов, травм от скольжения зубила и брызг окалины или обрезков металла. Зубило следует проверить на остроту и отсутствие трещин, а кувалду – на целостность рукоятки. Необходимо фиксировать заготовку клещами на наковальне, точно позиционируя зубило, и наносить контролируемые удары. При использовании пневматического молота следует работать в режиме одиночных ударов, чтобы избежать случайных травм. При горячей отрубке для уменьшения окалины необходимо посыпать заготовку бурой. При застревании зубила его извлечение следует производить только после охлаждения заготовки.

## **5. ПЛАН ПРОХОЖДЕНИЯ КУЗНЕЧНОЙ ПРАКТИКИ. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА**

Программой ознакомительной инженерной практики предусмотрено проведение пяти практических занятий в учебной кузнечной мастерской объемом 18 ч.

План проведения практических занятий представлен ниже.

### **Занятие 1. Основы кузнечного производства и техника безопасности (2 ч)**

*Цель:* ознакомление студентов с основами обработки давлением, ручной ковкой и правилами техники безопасности при проведении кузнечных работ.

#### ***Теоретическая часть (1,5 ч):***

– основы обработки металлов давлением, основы ручнойковки: оборудование (горн, пневматический молот) и инструменты (основной, вспомогательный и контрольно-измерительный)ковки металлов, основные кузнечные операции (осадка, протяжка, прошивка, раскатка, гибка, правка, отрубка);

– техника безопасности при выполнении кузнечных работ: правила работы с горном (контроль температуры по цвету каления, вентиляция, защита от угарного газа), пневматическим молотом (режимы ударов, фиксация заготовки) и инструментами (наковальня, клещи, кувалда и др.); демонстрация СИЗ и их использования;

– знакомство с оборудованием и инструментами кузнечно-термической мастерской.

#### ***Практическая часть (0,5 ч):***

– проверка знаний по технике безопасности (опрос);

– разбор типовых ошибок и нарушений.

### **Занятие 2. Нагрев заготовок, освоение операций осадки и протяжки (4 ч)**

*Цель:* обучение студентов правильному нагреву заготовки в горне, контролю температуры по цвету каления и выполнению операций осадки и протяжки.

#### ***Теоретическая часть (1,0 ч):***

– выбор температуры нагрева по цвету каления (900 °С–1150 °С, оранжево-красный до желто-оранжевого);

– контроль времени нагрева в горне, использование буры для защиты от окалины;

– безопасность при нагреве (вентиляция, СИЗ);

– особенности выполнения операций осадки и протяжки.

### ***Практическая часть (3,0 ч):***

- выполнение операции осадки: нагрев заготовки, фиксация клещами, деформирование кувалдой или с использованием пневматического молота в режиме одиночных ударов, поворот на 90°, контроль равномерности сечения шаблоном;
- выполнение операции протяжки: нагрев заготовки, фиксация клещами, деформирование ручником, поворот на 90°, проверка диаметра штангенциркулем;
- анализ результатов: выявление дефектов (складки, трещины), их устранение;
- оценка навыков, разбор ошибок.

### **Занятие 3. Освоение операций прошивки, раскатки и гибки (4 ч)**

*Цель:* обучение студентов выполнению операций прошивки, раскатки и гибки.

#### ***Теоретическая часть (1,0 ч):***

- особенности выполнения операций прошивки (использование прошивня), раскатки (использование цилиндрической или конической оправки) и гибки (использование рога наковальни);
- контроль температурыковки (1000 °С–1100 °С, желто-оранжевый цвет).

#### ***Практическая часть (3,0 ч):***

- выполнение операции прошивки: нагрев заготовки, установка прошивня, деформирование кувалдой, проверка диаметра отверстия шаблоном;
- выполнение операции раскатки: установка заготовки на оправку, деформирование ручником или с использованием пневматического молота в режиме прижима, поворот заготовки;
- выполнение операции гибки: нагрев зоны изгиба, деформирование на роге наковальни, проверка угла шаблоном;
- анализ дефектов (коробление, трещины) и их устранение.

### **Занятие 4. Освоение операций правки, отрубки и термической обработки (4 ч)**

*Цель:* обучение студентов выполнению операций правки и отрубки, а также термической обработки.

#### ***Теоретическая часть (1,0 ч):***

- особенности выполнения операций правки (использование шаблонов) и отрубки (использование зубила);
- выбор режимов термической обработки поковок.



### ***Практическая часть (3,0 ч):***

- выполнение операции правки: нагрев заготовки, деформирование ручником, проверка формы шаблоном;
- выполнение операции отрубки: фиксация заготовки, деформирование кувалдой с использованием зубила;
- выполнение термической обработки: закалка в воде (масле), отпуск в горне;
- анализ полученных результатов и выявление дефектов.

### **Занятие 5. Комплексная практика и контроль качества (4 ч)**

*Цель:* закрепление навыков применения всех изученных операций для изготовления поковки по индивидуальному заданию.

#### ***Теоретическая часть (30 мин):***

- повторение техники выполнения всех операций;
- объяснение требований к контрольному заданию: изготовление поковки по чертежу, выданному мастером.

#### ***Практическая часть (3,5 ч):***

- самостоятельное выполнение контрольного задания с минимальным вмешательством учебного мастера: изготовление поковки по чертежу;
- контроль качества: отсутствие дефектов, соответствие размерам;
- разбор выполнения контрольных заданий, выставление контрольной оценки.

Общая оценка по практике складывается из оценки, выставленной учебным мастером на основе качества выполненного контрольного задания, и оценки по защите отчета, выставляемой преподавателем.

В отчете по практике должны быть отражены следующие вопросы:

1. Определение термина «горячая обработка металлов».
2. Определения терминов «горячая обработка металлов давлением», «холодная обработка металлов давлением».
3. Основные преимущества обработки металлов давлением.
4. Определение термина «ковка».
5. Основные операцииковки.
6. Инструмент и оборудование для ручнойковки.
7. Техника безопасности приковке.
8. Оборудование кузнечной мастерской и его назначение.
9. Описание процесса выполнения контрольного задания: используемое оборудование, инструмент и приспособления; выбор режимовковки; полученная поковка (привести схемы, фотографии).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Капцевич, В. М. Горячая обработка металлов: учебно-методический комплекс / В. М. Капцевич, В. К. Корнеева, В. Р. Калиновский. – Минск : БГАТУ, 2012. – 444 с.
2. Капцевич, В. М. Горячая обработка металлов. Лабораторный практикум : учебное пособие / В. М. Капцевич, В. К. Корнеева, П. С. Чугаев. – Минск : БГАТУ, 2020. – 160 с.
3. Матвеев, А. С. Справочник кузнеца / А. С. Матвеев, В. А. Кочетков ; под ред. В. Ф. Безъязычного. – М. : Машиностроение, 2011. – 360 с.
4. Ухин, С. В. Кузнечное дело / С. В. Ухин. – М. : Изд-во АСТ ; Донецк : Сталкер, 2004. – 79 с.
5. Бурдуковский, В. Г. Технология процессовковки : учебное пособие / В. Г. Бурдуковский ; М-во науки и высшего образования РФ, Урал. федер. ун-т им. первого Президента России Б. Н. Ельцина. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2022. – 348 с.
6. Шмаков, В. Г. Кузница в современном хозяйстве / В. Г. Шмаков. – М. : Машиностроение, 1990. – 288 с.
7. Кальченко, А. А. Технологияковки и объемной штамповки. Часть 1 : учеб. пособие / А. А. Кальченко, В. В. Рузанов, К. Г. Пашенко. – Магнитогорск : Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова, 2015. – 63 с.
8. Навроцкий, А. Г. Кузнечное ремесло / А. Г. Навроцкий. – М. : Машиностроение, 1988. – 192 с.

**ДЛЯ ЗАМЕТОК**

Учебное издание

**Капцевич** Вячеслав Михайлович,  
**Корнеева** Валерия Константиновна

**ПРАКТИКА ОЗНАКОМИТЕЛЬНАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ.  
КУЗНЕЧНЫЕ РАБОТЫ**

Учебно-методическое пособие

Ответственный за выпуск *В. М. Капцевич*  
Редактор *В. Л. Невдах*  
Компьютерная верстка *В. Л. Невдах*  
Дизайн обложки *Д. О. Михеевой*

Подписано в печать 23.12.2025. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 3,49. Уч.-изд. л. 2,73. Тираж 99 экз. Заказ 617.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
учреждение образования  
«Белорусский государственный аграрный технический университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий  
№ 1/359 от 09.06.2014.  
№ 2/151 от 11.06.2014.  
Пр-т Независимости, 99–1, 220012, Минск.