

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

**В. С. Бедарев**

## **ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ДАВЛЕНИЕМ**

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины для студентов,  
обучающихся в бакалавриате по направлениям подготовки  
15.03.01 Машиностроение

Калининград  
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»  
2024

УДК 67.05

Рецензент

кандидат технических наук, доцент кафедры технологии продуктов питания  
ФГБОУ ВО «КГТУ» М. Н. Альшевская

Бедарев, В. С.

Технологии обработки деталей давлением: учебно-методическое пособие по изучению дисциплины для студентов бакалавриата по направлению подготовки 15.03.01 Машиностроение / В. С. Бедарев. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2024. – 40 с.

В учебно-методическом пособии по изучению дисциплины «Технологии обработки деталей давлением» представлены учебно-методические материалы по освоению тем лекционного курса, включающие подробный план лекции по каждой изучаемой теме, вопросы для самоконтроля, материалы по подготовке к практическим занятиям, отражены рекомендации для выполнения контрольной работы студентами заочной формы обучения.

Табл. 3, список лит. – 12 наименований

Учебно-методическое пособие рассмотрено и рекомендовано к опубликованию кафедрой инжиниринга технологического оборудования 20 февраля 2024 г., протокол № 5

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины рекомендовано к изданию в качестве локального электронного методического материала методической комиссией института агроинженерии и пищевых систем ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» 28 июня 2024 г., протокол № 6

УДК 67.05

© Федеральное государственное  
бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Калининградский государственный  
технический университет», 2024 г.

© Бедарев В. С., 2024 г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....	8
2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ.....	31
3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ.....	36
4. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	38
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	39

## ВВЕДЕНИЕ

Современный научно-технический прогресс неразрывно связан с разработкой и освоением нового высокотехнологического оборудования. Дисциплина «Технологии обработки деталей давлением» относится к профессиональным дисциплинам.

Машиностроение определяет технический прогресс страны и оказывает решающее влияние на создание материальной базы всех отраслей экономики. В связи с этим его развитию всегда придавалось и придается первостепенное значение. Потребности развивающегося машиностроительного производства вызвали появление новой технической науки, получившей название «Технология машиностроения». Технология машиностроения – это наука об изготовлении машин требуемого качества в установленном производственной программой количестве и в заданные сроки при наименьшей себестоимости.

Дисциплина «Технологии обработки деталей давлением» является дисциплиной, формирующей у обучающихся готовность к профессиональной деятельности в области машиностроения.

Цель дисциплины «Технологии обработки деталей давлением» формирование у студентов знаний, умений и навыков по планированию мероприятий, созданию и организации стадий технологической подготовки обработки, достаточных знаний технологических процессов, в основе которых лежит способность материалов пластически деформироваться под действием прилагаемых к ним внешних сил, умений и навыков по планированию мероприятий, созданию и организации стадий технологической подготовки обработки.

Задачами изучения дисциплины являются следующие мероприятия:

- формирование теоретических знаний по технологии обработки металлов давлением и области их применения;
- приобретение знаний по проектированию технологий обработки давлением различных металлов и их сплавов;
- формирование у студентов комплекса знаний о прокатном, ковочном, волочильном, прессовом и штамповочном оборудовании.

В результате изучения дисциплины студент должен

**знать:**

- существо процессов пластической деформации с современных позиций физики, физикохимии и механики сплошных сред;
- влияние химического, структурного и фазового состава материалов, а также термомеханического режима деформирования на пластичность материала;

– назначение процессов пластической обработки металлов и сплавов, их роль в улучшении структуры и свойств исходных заготовок;

– преимущества и недостатки процессов пластической обработки в сравнении с другими методами получения заготовок деталей машин – литьем, сваркой, обработкой резанием, термической обработкой и др.;

– наиболее эффективные процессы пластической обработки, обеспечивающие достижение заданного уровня качества продукции при минимальных затратах материалов, энергии, труда и нанесения наименьшего вреда окружающей среде;

– основные методы решения технологических задач кузнечно-штамповочного производства по определению требуемой силы и энергозатрат при заданном формоизменении;

**уметь:**

– выбрать вид и режимы пластической обработки в зависимости от строения исходной заготовки и назначить оптимальную степень ее деформации для получения заданного уровня служебных свойств конечного продукта;

– установить наиболее рациональную механическую схему деформации, обеспечивающую интенсификацию процесса при минимальных материальных и энергетических затратах;

– наметить ход решения задачи по определению напряженно-деформированного состояния обрабатываемой заготовки и энергосиловых показателей, рассматриваемого процесса ОМД;

– наметить путь решения конкретной технологической задачи по определению формоизменения;

**владеть:**

– способностью анализировать научно техническую информацию, изучать отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования;

– способностью принимать и обосновывать конкретные технические решения при создании объектов энергетического машиностроения;

– способностью к освоению новых технологических процессов и новых видов технологического оборудования.

– способностью и готовностью осваивать техническую документацию и осуществлять проектно-конструкторскую деятельность в соответствии с техническим заданием в области профессиональной деятельности;

– терминологией в области обработки металлов давлением;

– информацией о выборе режимов при изготовлении требуемой детали.

Для успешного освоения дисциплины «Технологии обработки деталей давлением», студент должен активно работать на лекционных и практических занятиях, организовывать самостоятельную внеаудиторную деятельность.

Для оценивания поэтапного формирования результатов освоения дисциплины (текущий контроль) предусмотрены практические и лабораторные занятия. Решение практических задач обучающимися проводится на практических занятиях после изучения соответствующих тем.

Для оценки результатов освоения дисциплины используются:

- оценочные средства поэтапного формирования результатов освоения;
- оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине.

К оценочным средствам поэтапного формирования результатов освоения дисциплины (текущий контроль) относятся:

- опросы по теоретическому материалу;
- контроль на практических занятиях;
- выполнение и защита лабораторных работ;
- выполнение и защита контрольной работы (заочная форма обучения).

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме зачета, который выставляется по результатам прохождения всех видов текущего контроля успеваемости. При необходимости тестовые задания закрытого и открытого типов могут быть использованы для проведения промежуточной аттестации.

Универсальная система оценивания результатов обучения приведена в таблице 1 и включает в себя системы оценок: 1) «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»; 2) «зачтено», «не зачтено»; 3) 100-балльную (процентную) систему и правило перевода оценок в пятибалльную систему.

Таблица 1 – Система оценок и критерии выставления оценки

Система оценок Критерий	2	3	4	5
	0–40 %	41–60 %	61–80 %	81–100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
<b>1. Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов</b>	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно-корректно связывать между собой (только некоторые из которых может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полной системой знаний и системным взглядом на изучаемый объект
<b>2. Работа с информацией</b>	Не в состоянии находить необходимую	Может найти необходимую	Может найти, интерпретировать	Может найти, систематизировать, интерпретировать необходимую

Система оценок Критерий	2	3	4	5
	0–40 %	41–60 %	61–80 %	81–100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
	информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	мую информацию в рамках поставленной задачи	ровать и систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
<b>3. Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта</b>	Не может делать научно-корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	В состоянии осуществлять научно-корректный анализ предоставленной информации	В состоянии осуществлять систематический и научно-корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные данные	В состоянии осуществлять систематический и научно-корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные данные, предлагает новые ракурсы поставленной задачи
<b>4. Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач</b>	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

При необходимости для обучающихся инвалидов или обучающихся с ОВЗ предоставляется дополнительное время для подготовки ответа с учетом его индивидуальных психофизических особенностей.

Для успешного освоения дисциплины «Технологии обработки деталей давлением» в учебно-методическом пособии по изучению дисциплины

приводится краткое содержание каждой темы занятия, перечень вопросов для подготовки к практическим занятиям и организации самостоятельной работы студентов. Материал пособия содержит рекомендации по написанию контрольной работы для студентов заочной формы обучения.

## **1. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Осваивая курс «Технологии обработки деталей давлением», студент должен научиться работать на лекциях, практических занятиях и организовывать самостоятельную внеаудиторную деятельность. В начале лекции необходимо уяснить цель, которую лектор ставит перед собой и студентами. Важно внимательно слушать, отмечать наиболее существенную информацию и кратко ее конспектировать; сравнивать то, что услышано на лекции с прочитанным и усвоенным ранее материалом в области методологии научно-исследовательской деятельности, укладывать новую информацию в собственную, уже имеющуюся, систему знаний. По ходу лекции необходимо подчеркивать новые термины, определения, устанавливать их взаимосвязь с изученными ранее понятиями.

Основными видами учебной деятельности в ходе изучения курса являются лекции, практические и лабораторные занятия, консультирование по решению практических заданий, выполнение контрольной работы для заочной формы обучения.

При разработке образовательной технологии организации учебного процесса основной упор сделан на соединение активной и интерактивной форм обучения. Интерактивная форма позволяет студентам проявить самостоятельность в освоении теоретического материала и овладении практическими навыками, формирует интерес и позитивную мотивацию к учебе.

При чтении лекций преподаватель имеет право самостоятельно выбирать формы и методы изложения материала, которые будут способствовать качественному его усвоению. При этом преподаватель в установленном порядке может использовать технические средства обучения, имеющиеся на кафедре и в университете.

Вместе с тем, всякий лекционный курс является в определенной мере авторским, представляет собой творческую переработку материала и неизбежно отражает личную точку зрения лектора на предмет и методы его преподавания. В этой связи представляется целесообразным привести некоторые общие методические рекомендации по построению лекционного курса и формам его преподавания.

Лекции составляют основу теоретической подготовки и посвящены наиболее важным моментам по исследованию физико-механических свойств сырья и готовой продукции. При проведении лекций необходимо использовать технические средства обучения, ЭИОС, применять методы, способствующие активизации познавательной деятельности слушателей. На лекциях целесообразно теоретический материал иллюстрировать рассмотрением различных примеров и конкретных задач. Имеет смысл привлекать студентов к обсуждению как рассматриваемого вопроса в целом, так и отдельных моментов рассуждений и доказательств. Необходимо также использовать возможности проблемного изложения, дискуссии с целью активизации деятельности студентов. Важную роль играет привлечение студентов к научно-исследовательской деятельности.

Практические занятия проводятся для закрепления основных теоретических положений курса и реализации их в практических расчетах, формирования и развития у студентов мышления в рамках будущей профессии.

На практических занятиях следует добиваться точного и адекватного владения теоретическим материалом и его применения для решения задач.

Важным звеном во всей системе обучения является самостоятельная работа обучающихся. В широком смысле под ней следует понимать совокупность всей самостоятельной деятельности студентов, как в отсутствие преподавателя, так и в контакте с ним. Она является одним из основных методов поиска и приобретения новых знаний, работы с литературой, а также выполнения предложенных заданий. Преподаватель призван оказывать в этом методическую помощь студентам и осуществлять руководство их самостоятельной работой.

Необходимо контролировать степень усвоения студентами текущего материала, а также уровень остаточных знаний по уже изученным темам.

С целью формирования мотивации и повышения интереса к предмету особое внимание при чтении курса необходимо обратить на темы, которые можно проиллюстрировать примерами из практической сферы, связывая теоретические положения с будущей профессиональной деятельностью студентов.

Тематический план лекционных занятий представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Структура лекционных занятий

Номер темы	Содержание лекционного занятия
1	Введение. Назначение пластической деформации. Основы пластической деформации металлов
2	Основные способы обработки металлов давлением. Подготовка

Номер темы	Содержание лекционного занятия
	заготовок к обработке давлением
3	Прокатка металлов. Виды прокатки. Оборудование для прокатки металла. Продукция прокатного производства
4	Прессование и волочение металла. Способы получения и виды продукции
5	Свободная ковка. Основные операции ковки и применяемое оборудование
6	Объемная штамповка. Виды штампов. Листовая штамповка, классификация операций, оборудование и продукция
<b>Итого</b>	

Если лектор приглашает студентов к дискуссии, то необходимо принять в ней активное участие. Если на лекции студент не получил ответа на возникшие у него вопросы, он может в конце лекции задать эти вопросы лектору курса дисциплины.

### **Тема 1. Введение. Назначение пластической деформации. Основы пластической деформации металлов**

#### *Ключевые вопросы темы*

1. Цель и задачи дисциплины.
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.
3. Механические свойства твердых тел.
4. Пластическое деформирование, условия деформирования, структура металла при деформировании.
5. Изменение механических свойств металла при пластическом деформировании.

#### *Методические рекомендации*

Физические основы пластической деформации.

Упругая деформация. Характеристиками материалов в упругой области нагружения являются *упругие константы (для монокристаллов) и модули упругости* – коэффициенты пропорциональности между напряжением и деформацией в законе Гука для соответствующего напряженного состояния. Они отражают сопротивление металла упругому деформированию. Природа *истинных* значений модуля упругости определяется силами межатомного взаимодействия атомов в кристаллической решетке, поэтому модуль упругости оказывается температурно-зависимой характеристикой.

Пластическая деформация – необратимая деформация материала, которая сохраняется после снятия нагрузки. Остаточная деформация может проявляться на микроуровне за счет движения дислокаций.

Обработке давлением преимущественно подвергаются *кристаллические* твердые тела – металлы и сплавы на их основе, сохраняющие приданную им форму до определенных температур. Металлическое тело может состоять из одного кристалла (*монокристалл*) или из множества кристаллов (*поликристаллы*).

В основе микроструктурного анализа лежат методы изучения структурных составляющих. Металлы и их сплавы характеризуются *составом* (% по массе или атомные), *фазовым состоянием и структурой*.

Структурный анализ макроструктуры выполняется с помощью визуального осмотра или при небольших увеличениях с помощью лупы позволяет выявить характер излома, химическую неоднородность, размеры и форму крупных кристаллов, волокнистость, наличие пор и трещин и другие дефекты.

Кристаллическое строение металлов. Для металлов и сплавов наиболее распространенными являются следующие системы упаковки атомов в кристаллической ячейке: объемноцентрированная кубическая (ОЦК), гранецентрированная кубическая (ГЦК) и гексагональная плотноупакованная (ГП) решетки.

*Полиморфизм* – свойство кристаллов в твердом состоянии при разных температурах (или давлении) иметь различный тип упаковки кристаллической решетки.

Структура деформированных поликристаллических материалов зависит от многих факторов, таких как тип упаковки кристаллической решетки, химический состав, схема и условия деформирования, степень обжатия, температура и скорость деформации. С ростом степени деформации зерна постепенно вытягиваются в направлении пластического течения. По мере повышения степени предварительной деформации формируется *волокнистая структура* в направлении прокатки

По мере роста степени предварительной деформации увеличиваются прочностные характеристики (твердость,  $\sigma_v$ ,  $\sigma_{0,2}$ ), понижаются пластичность и ударная вязкость ( $\psi$ , KCV).

В зависимости от температуры обработки и скорости деформации различают процессы холодной, теплой и горячей обработки металлов давлением. *Горячую деформацию* производят при температурах выше  $0,6T_{пл}$  (при температурах выше температуры рекристаллизации). Основную роль играют процессы разупрочнения, когда с большой скоростью развиваются *динамические* процессы возврата, полигонизации и рекристаллизации.

Структура металлов после горячей деформации весьма неоднородна, так как деформация распределяется неравномерно по сечению (в поверхностных слоях возникает более мелкое рекристаллизованное зерно) и при охлаждении температура внутренних слоев остается высокой, что способствует росту размера зерна. Поэтому в горячедеформированном изделии имеется градиент размеров зерен по сечению – от мелких на поверхности до крупных в центре. Расслоение деформированного металла – серьезный фактор, ограничивающий возможность использования жестких режимов деформаций сплавов на основе железа.

#### Контрольные вопросы

1. Что такое пространственная решетка? Перечислить основные виды пространственных решеток.
2. Какое тело называется поликристаллическим? Чем обусловлено поликристаллическое строение металлов? Что такое кристаллит (зерно)
3. Что такое анизотропия и чем она обусловлена?
4. Что такое плоскость скольжения? Какие кристаллографические плоскости чаще всего являются плоскостями скольжения?
5. Укажите в чем различие свойств монокристалла и поликристаллического материала и чем они обусловлены. Пути повышения прочности поликристаллического материала
6. Опишите дислокационный механизм возникновения пластической деформации, виды дислокаций.
7. Дайте понятие упругой и пластической деформации и их характеристики.
8. Какой дополнительный механизм возникновения пластической деформации при горячей деформации по сравнению холодной деформацией?

## **Тема 2. Основные способы обработки металлов давлением**

### **Подготовка заготовок к обработке давлением**

#### *Ключевые вопросы темы*

1. Прокатка.
2. Ковка. Принцип действия молотов и прессов.
3. Волочение.
4. Прессование.
5. Горячая и холодная, листовая штамповка.
6. Нагрев заготовок.
7. Температурные интервалы обработки металлов давлением.
8. Режимы охлаждения металла.

## 9. Нагревательные печи.

### *Методические рекомендации*

Прокатка металлов является таким видом пластической обработки, когда исходная заготовка обжимается вращающимися валками прокатного стана в целях уменьшения поперечного сечения заготовки и приданию ей заданной формы.

Существуют три основных способа прокатки: продольная, поперечная, и поперечно-винтовая (или косая.) При продольной прокатке деформирование заготовки осуществляется между вращающимися в разные стороны валками. При поперечной прокатке оси прокатных валков и обрабатываемой заготовки параллельны (или пересекаются под небольшим углом). Оба валка вращаются в одном направлении, а заготовка круглого сечения – в противоположном. Поперечно-винтовая или косая прокатка выполняется во вращающихся в одном направлении валках, установленных в прокатной клети под некоторым углом друг к другу.

Волочение металла – это протягивание изделия круглого или фасонного профиля через отверстие волочильного очка (волоку), площадь выходного сечения которого, меньше площади сечения исходного изделия. Волочение выполняется тяговым усилием, приложенным к переднему концу обрабатываемой заготовки. Данным способом получают проволоку всех видов, прутки с высокой точностью поперечных размеров и трубы разнообразных сечений.

Прессование металла – это вытеснение с помощью пуансона исходной заготовки (чаще всего цилиндрической формы), помещенной в контейнер, через отверстие матрицы. При этом выходящий конец заготовки получает сечение, соответствующее контуру отверстия в матрице. Прессованием получают разнообразный сортамент профилей практически с неограниченными возможностями по форме их сечения – прутки и трубы из цветных и черных металлов.

Ковка – это способ обработки металлов давлением путем местного приложения деформирующих нагрузок с помощью универсального инструмента. В качестве универсального инструмента используются бойки и подкладной инструмент. При ковке инструмент действует на часть поверхности заготовки, а оставшаяся часть формируется свободно. Ковка применяется в единичном (например, для уникальных поковок типа роторов турбин) и мелкосерийном производстве (до 1000 т поковок в год), например, производстве валов или дисков. К преимуществам процессаковки относят:

- простоту и универсальность инструмента и операцийковки;
- достаточно высокую производительность;

- возможность получения формы поковки, приближенной к форме детали;
- хорошую проработку структуры металла;
- высокие механические свойства поковок.

В качестве исходной заготовки дляковки в начале технологического цикла обработки металлов давлением применяются кузнечные слитки, а также в дальнейшем сортовой прокат либо прессованный пруток круглого и квадратного сечений, порезанные на мерные длины.

Различают ковку на прессах и молотах. Ковкой на прессах получают более крупные поковки из слитков массой до 350 т. Согласно ГОСТу 7062–90 прессовые поковки из углеродистых и легированных сталей могут иметь длину до 20 м и поперечный размер – до 2,1 м и выпускаются при единичном и мелкосерийном производстве. Это единственный способ изготовления крупных роторов и турбин для гидроэлектростанций, оружейных стволов, колонн гидравлических прессов, крупных валков прокатных станов и других массивных деталей.

Штамповка – обработка металлов давлением с помощью штампа, закрепленного в рабочем органе кузнечно-штамповочной машины или незакрепленного.

Штамповка делится на объемную и листовую.

По сравнению с ковкой штамповка имеет следующие преимущества:

- возможность получения поковок более сложной формы, с более высокой точностью, с лучшим качеством поверхности;
- большой коэффициент использования металла  $K_{им} = 0,6 \dots 0,9$ .

Благодаря высокой производительности штамповка применяется в крупносерийном и массовом производстве.

Объемная штамповка изделий или заготовок из сортового проката с обусловленным значительным перераспределением металла в поперечном сечении исходной заготовки. Этот вид штамповки заключается в принудительном заполнении металлом полости штампа и придании ему формы полости.

Объемная штамповка подразделяется на горячую (с подогревом исходной заготовки) и холодную.

Листовая штамповка изделий или заготовок из листового или фасонного проката без обусловленного значительного перераспределения металла в поперечном сечении исходной заготовки. Листовая штамповка осуществляется в основном в холодном состоянии.

При подготовке обработки металлов давлением, производят нагрев заготовок в зависимости от вида деформаций.

Различают четыре вида деформаций: холодная, неполная холодная, неполная горячая, горячая.

При холодной пластической деформации ( $0,3 T_{пл}$ ) происходит упрочнение металла. Процессы разупрочнения отсутствуют, не происходит залечивание нарушений внутри и межзеренных, так как не действуют диффузионные механизмы пластичности. В результате прочность металла повышается, пластичность падает. При высоких степенях деформации образуется текстура.

При неполной холодной деформации ( $0,3-0,5 T_{пл}$ ) наряду с упрочнением происходит частичное разупрочнение за счет возврата. Упрочнение в данном случае менее интенсивное. При больших деформациях наблюдается полосчатость микроструктуры и текстура деформации.

В результате неполной горячей деформации ( $0,5-0,7 T_{пл}$ ) рекристаллизация в металле происходит не по всему объему. Поэтому структура металла получается рекристаллизованной с наличием деформированной. Из-за неоднородности деформации неполная горячая деформация приводит к пониженным механическим свойствам и поэтому нежелательна.

При горячей деформации (более  $0,7 T_{пл}$ ) упрочнение полностью отсутствует. Разупрочнение происходит вследствие рекристаллизации. В итоге структура металла должна быть рекристаллизованной, равноосной.

Нагревание производят в печах различного типа: пламенной, индукционной, камерной, кольцевой, рециркуляционной. Нагрев заготовок производят в пределах  $800-1250\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

#### Контрольные вопросы

1. Что такое прокатное производство, способы получения проката.
2. Способ получения заготовок прессованием.
3. Назначение прессования. Устройство горизонтальных прессов
4. Назначение волочения, принцип получения деталей.
5. Принцип действия волочильных станов
6. Назначениековки, заготовки для получения кованых деталей.
7. Принцип действия молотов и прессов
8. Назначение горячей, холодной, листовой штамповки
9. Устройство штамповочных прессов
10. Принцип действия штамповочных прессов
11. Способы нагрева и температура заготовок в зависимости от вида деформаций.

### **Тема 3. Прокатка металлов. Виды прокатки. Оборудование для прокатки металла. Продукция прокатного производства**

#### *Ключевые вопросы темы*

1. Прокатные станы
2. Заготовки для проката.
3. Нагрев заготовок
4. Блюм, сляб, сортовой прокат.
5. Калибровка валков.
6. Листовая сталь

#### *Методические рекомендации*

Самые распространенные машины для ОМД – прокатные станы. Их классифицируют по следующим признакам: по разновидности прокатки (продольная, винтовая, поперечная, планетарная и др.); по числу валков в клети: 2-валковые (дуо), 3(трио)-, 4(кварто)-, многовалковые (до 20 в планетарных станах); по направлению вращения валков (реверсивные, нереверсивные); по расположению и количеству рабочих клетей: одноклетьевые; линейные (многоклетьевые, состоящие из нескольких линий, имеющих отдельный привод); последовательные (многоклетьевые с увеличенным расстоянием между клетями, прокатка ведется в одной клети); непрерывные (прокатка ведется одновременно в нескольких клетях); полунепрерывные, состоящие из двух групп клетей (реверсивных и непрерывных);

По назначению прокатные станы делятся: горячей прокатки: обжимные, заготовочные, рельсобалочные, крупно-, средне- и мелкосортные, толстолистовые, тонколистовые, среднелистовые, штрипсовые, трубные (непрерывные, автоматические, пилигримовые, речные) и др.; холодной прокатки: листовые и трубные (валковые, роликовые и валково-роликовые); специального назначения (колесопрокатные, прокатки шаров, полос переменного сечения и др.).

В типоразмере сортовых станов указывается диаметр валка в миллиметрах (например, стан 700), листовых станов – ширина валка (стан 2500), трубных станов – максимальный диаметр прокатываемой трубы (стан холодной прокатки труб ХПТ-55).

В качестве исходной заготовки применяются слитки и непрерывно литая заготовка (НЛЗ). Последняя применяется все чаще, вытесняя слитки, так как позволяет существенно повысить качество металла и производительность. Слитки применяются на первых этапах прокатки,ковки и прессования. ГОСТов на слитки нет, на каждом заводе есть свои технические условия (ТУ), где

указывается химический состав стали или сплава, форма и размеры, состояние поверхности (отсутствие дефектов больше допустимых).

Наиболее распространенная форма поперечного сечения – квадрат и прямоугольник. Для прокатки высоколегированных сталей применяют слитки круглого сечения, чтобы уменьшить вероятность поверхностных дефектов. Для прокатки колес и бандажей используют 8- и 12-гранные слитки.

Масса слитка зависит от химического состава стали: чем крупнее слиток, тем он неоднороднее по химическому составу, поэтому слитки из легированных сталей отливают меньших размеров. Слитки легированных сталей отливают массой 0,5–1,5 т (при содержании легирующих элементов 8–15 %) и 3–6 т (при меньшем содержании легирующих элементов). Развес слитков из углеродистых и низколегированных сталей составляет 10–12 т для прокатки блюмов; 25–40 т – для прокатки слябов; 100 т и более – для прокатки толстых листов.

Конусность слитков на сторону рекомендуется 3–4 % для спокойной стали и 1–1,5 % – для слитков из кипящей стали. Отношение высоты слитка к средней толщине составляет 1,5...3,5 для слитков спокойной стали; 3...3,5 – для слитков кипящей стали.

Цель нагрева — повышение обрабатываемости металла, т. е. уменьшение сопротивления деформации, усилия деформирования, энергоемкости процесса и повышение пластичности металла. Нагрев осуществляется в печах различных конструкций. По режиму нагрева печи подразделяются на камерные (температура рабочего пространства одинакова) и методические (температура из меняется по длине печи). По виду источников тепла различают электрические (в том числе индукционные) и пламенные печи. Нагрев завершается выдержкой при заданной температуре с целью обеспечения равномерного нагрева по объему тела. Например, нагрев стального кузнечного слитка массой 45 т до 1200 °С длится 32 ч, а выдержка – 7 ч.

Производят следующие разновидности прокатного полупродукта и готовой продукции.

Блюм – это полупродукт квадратного или близкого к квадратному сечения размером 140–450 мм. Сляб – это полупродукт прямоугольного сечения для последующей горячей прокатки листов толщиной 100–350 мм, шириной 300–2200 мм, длиной 1 200–11 000 мм. Отношение ширины к толщине может быть до 3–4. Заготовка-полупродукт квадратного или близкого к нему сечения от 40 до 250 мм, прокатываемый из блюмов.

Сортовой прокат делится на простые и фасонные профили. Простые профили (круг, квадрат, шестиугольник, прямоугольник, полоса) производятся из заготовки и классифицируются по крупности: крупный (80–200 мм), средний (40–80 мм), мелкий (8–40 мм), катанка (проволока диаметром 5,5–8 мм).

Фасонные профили (уголок, тавр, швеллер, двутавр, рельс, зетовый) прокатывают также из заготовки. Высота профилей – до 500 мм, ширина – до 250 мм.

Горячекатаный лист получают из слябов шириной 600–5000 мм и разделяют на толстый (толщиной 4–160 мм) и тонкий (2–4 мм). Холоднокатаный лист выпускают толщиной менее 0,15–2 мм. Разновидностью этой продукции является жесть толщиной до 0,07 мм. Штрипс – это холоднокатаная лента, из которой производятся сварные трубы. Бесшовные трубы диаметром 25–550 мм получают горячей прокаткой из круглого проката или НЛЗ на трубопрокатных агрегатах, а меньшего диаметра (до 3 мм) – холодной прокаткой и волочением.

Продольная прокатка производится с помощью цилиндрических валков с гладкой бочкой (для получения полос и листов) и калиброванных валков (для прокатки простых и фасонных профилей). Калибры подразделяются на простые и фасонные для прокатки сложных профилей (уголок, тавр, швеллер, двутавр и др.).

По месту в технологической цепочке калибры делятся на вытяжные, предназначенные для уменьшения площади поперечного сечения прокатываемой полосы, и отделочные – для придания прокатываемой полосе требуемой формы без значительной вытяжки. Практикой установлены следующие устойчивые системы (пары) вытяжных калибров: ящичные, ромб – квадрат, овал – квадрат, шестиугольник – квадрат, овал – ребровой овал и некоторые другие.

Прокатка на блюминге производится на двухвалковом реверсивном стане. Слябы прокатывают из слитков массой 30–45 т. Расположение оборудования слябинга аналогично оборудованию блюминга, отличия заключаются в следующем: слябинг имеет две пары валков – горизонтальную и вертикальную.

Для прокатки сортового проката используются многоклетевые станы (до 17 клеток и более) с разнообразным расположением клеток (последовательным, параллельным, шахматным и др.).

Прокатка горячекатаного листа производится из слябов на толстолистовых станах различной конструкции. Наибольшее распространение получили двух- и трехклетевые станы с последовательным расположением клеток (черновые и чистовая). Клетки могут быть двухвалковые (дуо), трехвалковые (трио), четырехвалковые (кварто) с опорными валками.

На станах холодной прокатки производят листовую сталь толщиной 0,2–5 мм и шириной 200–2300 мм. Исходная заготовка – горячекатаная листовая сталь в рулонах со станом горячей прокатки. Чаще всего используют многоклетевые непрерывные станы холодной прокатки с четырехвалковыми клетями (кварто).

Трубы тоже являются одним из важных видов прокатной продукции. Диапазон диаметров трубчатых профилей достаточно широк – от 0,5 до 2420 мм с толщиной стенки от 0,1 до 75 мм.

По способу производства трубы подразделяют на сварные (шовные) и бесшовные. Сварные трубы в свою очередь делят на спиральношовные и прямошовные диаметром от 8 до 2420 мм с толщиной стенки 0,5...32 мм.

Спиральношовные трубы более технологичны и экономичны: трубы одного диаметра можно получать из заготовки (полосы) разной ширины и, наоборот, трубы разных диаметров можно получать из полосы одной ширины. Прямошовные трубы большого диаметра (более 1200 мм) вынуждено производят двушовными из-за отсутствия в сортаменте листов нужной ширины.

Бесшовные трубы производят путем прокатки или прессования. Прессуют в основном трубы из цветных материалов, а также из труднодеформируемых сплавов. Сортамент бесшовных труб: диаметр 25...665 мм, толщина стенки 2,5...75 мм. Трубы меньших диаметров и толщин получают холодной прокаткой. Кроме привычной круглой формы трубы бывают квадратные, прямоугольные, полукруглые, оребренные и др. специального назначения.

#### Контрольные вопросы

1. Классификация прокатных станов.
2. Что применяют в качестве исходных заготовок для проката?
3. От чего зависит масса слитка?
4. Цель нагрева слитков, где производится нагрев заготовок?
5. Разновидности прокатного полупродукта и готовой продукции.
6. Что входит в состав сортового проката?
7. Для чего используются калибры?
8. Что применяется для прокатки сортового проката?

#### **Тема 4. Прессование и волочение металла. Способы получения и виды продукции**

##### *Ключевые вопросы темы*

1. Прессование.
2. Прямое и обратное прессование.
3. Прессовый инструмент.
4. Скорость прессования.
5. Волочение.
6. Волочильные станы.

### *Методические рекомендации*

Прессование – один из распространенных методов ОМД. Осуществляют в горячем и в холодном состояниях, не только пластичных, но и хрупких материалов, не только компактных, но и порошкообразных. Методом прессования получают изделия самой разнообразной формы, определяемой формой очка матрицы. Сортамент изделий включает профили с описанным диаметром от 3 до 250 мм, трубчатые профили диаметром от 20 до 600 мм, полые профили с одним или несколькими каналами сложной формы и пр., которые другими способами получить затруднительно или вообще невозможно.

Достоинствами способа являются большие вытяжки за прессовку (до 1000), возможность прессования мало пластичных материалов, универсальность способа – можно получать разнообразные изделия простой заменой матрицы, высокое качество поверхности и точность прессуемых изделий.

К недостаткам можно отнести повышенный расход металла из-за пресс-остатка, сравнительно высокую стоимость прессового оборудования, низкую производительность.

Известны два метода прессования – прямой и обратной. При прямом направлении движения пуансона и изделия совпадают, при обратном – противоположены. Но главным отличием является наличие или отсутствие перемещения металла относительно стенок контейнера. При прямом прессовании металл скользит по поверхности контейнера (за исключением небольших участков в углах, образованных контейнером и матрицедержателем – т. н. «мертвые зоны»), преодолевая противодействие сил контактного трения. При обратном – такое скольжение металла отсутствует, поэтому сила обратного прессования в 1,5...2,0 раза меньше, чем при прямом. Но этот метод более сложен по использованию, длина изделия ограничена длиной штанги пуансона, ниже производительность. Поэтому он не получил широкого распространения.

Процесс прессования осуществляют в гидравлических и механических прессах. Более распространены гидравлические прессы. Они отличаются простотой конструкции, обеспечивают значительные силы прессования, легкую регулировку скорости хода пуансона.

Гидравлические прессы бывают вертикального и горизонтального типов усилием до 60 МН и более. Прессы укомплектовывают соответствующим вспомогательным оборудованием для подачи и выдачи слитков из печи, транспортировки слитка от печи к прессу и установки его в контейнер, отрезки пресс-остатка и его уборки и пр. Все эти операции от посадки слитка в печь до уборки готовых изделий полностью механизированы и автоматизированы.

Эффективность прессования зависит от прессового инструмента. В процессе прессования он подвергается циклическому воздействию высоких

температур (до 1250 °С) с частыми теплосменами, высоким давлением, абразивному трению. Особенно это относится к матрицам. По количеству отверстий матрицы бывают одно- и многоочковые (до 30). Существенной частью матрицы является рабочий пояс, определяющий размер и форму прессуемых изделий.

Длина рабочего пояса 4...5 мм для мелких профилей и 10...15 мм – для крупных.

Из-за быстрого износа и потери размеров применяют матрицы со вставками из твердосплавных материалов.

Благоприятная схема деформации – трехосного сжатия, – обеспечивает возможность прессования даже малопластичных и хрупких металлов, в том числе титана, вольфрама, молибдена, бериллия, циркония и пр. Определяющими являются термомеханические условия прессования – температура, свойства металлов, вытяжка, условия трения. Обычно для получения требуемых свойств необходима не менее, чем 10-кратная вытяжка литого металла.

С точки зрения повышения выхода годного желательно иметь слитки возможно большей длины, но при этом резко возрастают сила прессования, размеры оборудования и пр. Практикой установлены такие соотношения между длиной  $L$  слитка и его диаметром  $D$ :  $L = 2,0...3,0D$  для сплошных изделий и  $L = 1,5...2,0D$  для полых.

При прессовании различают скорость прессования (скорость движения пуансона) и скорость истечения металла из матрицы. Обычно пластичные металлы прессуют с повышенной скоростью истечения (алюминия до 25 м/сек, стали – до 8 м/сек), а мало пластичные со скоростью всего 5 см/сек.

Прессование осуществляют со смазкой. Обычно составной частью смазки является графит, а в качестве связки машинное масло и канифоль. При прессовании труднодеформируемых сплавов используют жидкое стекло.

Прессованные изделия обычно подвергают отделочным операциям – термообработке, травлению поверхности, правке, зачистке дефектов, нанесению защитных и/или декоративных покрытий и пр.

Прессование полых изделий, в том числе труб, осуществляют из пустотелых гильз или сплошных заготовок на оправке (игле). При использовании сплошных заготовок ее вначале прошивают иглой в контейнере, а затем начинают процесс прессования – металл выдавливают в щель между матрицей и иглой.

Волочение – один из древнейших способов ОМД. Сущность его заключается в протягивании холодного прутка через отверстие (очко, волоку), выходные размеры которого меньше размеров исходного сечения заготовки. Способ широко используется в металлургии и металлообработке. Сортамент

получаемых изделий включает профили диаметром от нескольких микрон до 100 мм не только круглого, но и самых экзотических форм сплошного или полого сечения из благородных, цветных и черных металлов и сплавов.

Если преследуют только цель повышения точности и улучшения качества поверхности изделия, то такой вид волочения называют калибровкой.

Большой эффект дает использование роликовых волок вместо монолитных, но из-за сложности их применяют редко, хотя коэффициент вытяжки в таких волокнах может достигать 4...5.

Обычно волока состоит из двух деталей – обоймы и собственно волоки. Обойму изготавливают из прочной вязкой стали, а волоку – из твердосплавных материалов. Для волочения тончайшей проволоки волоки изготавливают из технических алмазов, а для волочения прутков и труб больших сечений – из инструментальных сталей.

Волока состоит из нескольких участков. Средний участок – рабочая или деформирующая зона. Имеет коническую форму. Со стороны входа к ней примыкает смазочная зона тоже конической формы, а с другой стороны – калибрующий пояс, который придает окончательную форму профилю. К смазочной зоне примыкает входная зона, а к калибрующему пояску – выходная зона конической или сферической формы.

Полые изделия волочат несколькими способами: на короткой неподвижной оправке, на длинной подвижной оправке, на короткой «плавающей» оправке и без оправки.

Волочильные станы. Основные элементы – волочильный инструмент и тянущее устройство. Используют два основных типа станов: с прямолинейным движением протягиваемого металла (цепные, реечные, гидравлические) и с наматыванием на барабан (барабанные станы). Первые используют для профилей, которые невозможно смотать из-за их размеров или формы.

На современных станах можно одновременно протягивать до 10 прутков со скоростью до 2 м/сек., тянущее усилие до 1,5 МН. Длина изделий ограничивается размерами станины и обычно составляет до 15 м (максимум до 50 м).

Барабанные станы в зависимости от количества волок, через которые последовательно протягивают металл, подразделяют на однократные и многократные.

Однократные используют для волочения прутков, фасонных профилей и труб. Ось барабана – вертикальная или горизонтальная. Барабан является и тянущим, и намоточным устройством. Во избежание искажения формы профиля при намотке диаметр барабана должен в 30...40 раз превышать

диаметр сматываемого изделия (до 3 м). Сила волочения до 100 КН, скорость волочения – до 4,5 м/сек.

Принцип работы станов многократного волочения заключается в одновременном протягивании заготовки через несколько последовательно расположенных волок.

Основные технологические операции при волочении: термическая обработка заготовки предназначена для гомогенизации структуры и повышения пластических свойств; удаление окалины с поверхности заготовки; травления поверхность заготовки; нанесение подсмазочного слоя; волочение; отделочные операции.

Контрольные вопросы

1. Что такое прессование заготовок?
2. Сортамент изделий, получаемых прессованием.
3. Сущность прямого и обратного метода прессования.
4. Какие прессы используются при прессовании?
5. Сущность процесса волочения.
6. Основные элементы волочильного стана.
7. Основные технологические операции при волочении.

### **Тема 5. Свободная ковка. Основные операцииковки и применяемое оборудование**

*Ключевые вопросы темы*

1. Ковка.
2. Коэффициент использования металла.
3. Кузнечные слитки.
4. Ковка на прессах и молотах.
5. Разделительные и формообразующие операции.
6. Осадка и высадка.
7. Протяжка, прошивка, раскатка
8. Припуски, напуски, допуски.

*Методические рекомендации*

Ковка – это способ ОМД путем местного приложения деформирующих нагрузок с помощью универсального инструмента. В качестве универсального инструмента используются бойки и подкладной инструмент. При ковке инструмент действует на часть поверхности заготовки, а оставшаяся часть формируется свободно.

Ковка применяется в единичном (например, для уникальных поковок типа роторов турбин) и мелкосерийном производстве (до 1000 т поковок в год), например, производстве валов или дисков.

К преимуществам процессаковки относят простоту и универсальность инструмента и операцийковки; достаточно высокую производительность; возможность получения формыпоковки, приближенной к форме детали; хорошую проработку структуры металла; высокие механические свойствапоковок.

Недостатки связаны с большим коэффициентом использования металла.

$$K_{\text{им}} = G_{\text{д}} / G_0$$

где  $G_{\text{д}}$  – масса детали;  $G_0$  – масса заготовки.

При ковке слитков  $K_{\text{им}} \leq 0,45$ , при ковке катаной и кованой заготовки  $K_{\text{им}} \leq 0,5$ , что связано со значительным расходом металла на кузнечные напуски и токарную обработку 1. Также к недостаткамковки можно отнести большую энергоемкость кузнечных машин, прессов и молотов, нагревательных печей.

В качестве исходной заготовки дляковки в начале технологического цикла ОМД применяются кузнечные слитки, а также в дальнейшем сортовой прокат либо прессованный пруток круглого и квадратного сечений, порезанные на мерные длины.

Различают ковку на прессах и молотах. Ковкой на прессах получают более крупные поковки из слитков массой до 350 т. Согласно ГОСТу 7062–90 прессовые поковки из углеродистых и легированных сталей могут иметь длину до 20 м и поперечный размер – до 2,1 м и выпускаются при единичном и мелкосерийном производстве. Это единственный способ изготовления крупных роторов и турбин для гидроэлектростанций, оружейных стволов, колонн гидравлических прессов, крупных валков прокатных станов и других массивных деталей.

Ковкой на молотах получают поковки более мелких размеров до 6 м длиной и 360 мм в поперечном размере. Исходной заготовкой служит слиток до 2–3 т для углеродистых сталей и до 1 т для легированных, также прокат и прессованная заготовка.

Основные типыпоковок:

- поковки удлиненной формы сплошные круглого сечения;
- валы (гладкие, с уступами, с выемкой, с буртом, с фланцем);
- сплошные прямоугольного (квадратного) сечения тех же типов;
- полые (с отверстием) (полые валы); поковки умеренной длины:
- цилиндры;
- бруски, кубики, пластины без отверстия и с отверстием;
- раскатные кольца;
- муфты, втулки;
- короткие поковки – диски без отверстия и с отверстием.

Кузнечные операции подразделяются на разделительные и формоизменяющие.

Разделительные операции – предназначены для полного или частичного отделения одной части заготовки от другой. Применяются следующие виды разделительных операций: надрубка – образование углублений на заготовке за счет внедрения кузнечного инструмента на неполную толщину заготовки; отрубка – полное отделение части заготовки по незамкнутому контуру путем внедрения инструмента; разрубка – разделение поковки на части путем внедрения инструмента. В качестве накладного универсального инструмента применяются топоры различных форм и размеров.

Формоизменяющие операции – это операцииковки, в результате которых изменяется форма заготовки путем пластического деформирования. При ковке применяются следующие основные операции: осадка давлением – уменьшение высоты заготовки при увеличении площади ее поперечного сечения. Это основная операция при ковке коротких поволоков типа дисков. Во избежание потери устойчивости заготовки отношение ее высоты к наружному диаметру должно быть  $H_0/D_0 \leq 2,5$ . Осадка может производиться плоскими бойками (плитами), а также кольцевыми плитами. Во втором случае образуются концевые участки (галтели), которые используются в качестве захватов при дальнейшей ковке. Различают также операцию высадки – осадки части заготовки. Величину обжатия при осадке оценивают относительным обжатием по высоте, либо коэффициентом укова.

Протяжка кузнечная – это удлинение заготовки или ее части за счет уменьшения площади поперечного сечения. Этой операции может подвергаться сплошная либо полая заготовка, при этом для утонения стенок поковки применяется оправка.

Протяжка применяется для изготовления поволоков удлиненной формы (валов, муфт) и осуществляется путем многократных обжатий заготовки с продвижением ее на величину подачи  $m_0$

П р о ш и в к а – это операцияковки с целью образования несквозной полости в заготовке за счет свободного вытеснения металла. Эту операцию применяют обычно после операции осадки при изготовлении полых поволоков типа муфт, дисков с отверстием и колец. Прошивка может проводиться сплошным или пустотелым прошивнем. Во втором случае удаляется менее качественная сердцевина слитка.

Раскатка – увеличение диаметра кольцевой заготовки за счет уменьшения толщины стенки путем последовательного воздействия инструмента. Эта операция применяется дляковки поволоков типа раскатных колец, толщина стенки которых много меньше диаметра. Операцию раскатки можно представить, как протяжку заготовки, концы которой соединены между собой.

Обкатка – придание заготовке (слитку) цилиндрической формы путем деформирования, чередующегося с поворотами заготовки вокруг своей оси.

Передача – смещение одной части заготовки относительно другой при сохранении параллельности осей или плоскостей частей заготовки. Операция применяется для ковки поковок с изогнутой осью, например, коленчатых валов.

Реже, кроме вышеперечисленных операций, применяются операции гибки (образование или изменение углов между частями заготовки), разгонки (увеличение размеров в плане заготовки или ее части за счет уменьшения толщины), скручивания (поворот части заготовки вокруг продольной оси), сварки. На заключительной стадии применяют отделочные операции: сбивка углов, проглаживание (устранение неровностей поверхности), правка, клеймение.

При разработке чертежа поковки назначают припуски, допуски и напуски.

Припуск – предусмотренное превышение размеров поковки против номинальных размеров детали, обеспечивающее после обработки резанием требуемые чертежом размеры детали и чистоту ее поверхности.

Напуск – увеличение припуска, упрощающее конфигурацию поковки ввиду невозможности или нерентабельности изготовления поковки по контуру детали.

Допуск на кузнечную обработку – разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами поковки.

Для выбора ковочного оборудования необходимо определить усилие деформирования, которое зависит от сопротивления деформации сплава, габаритов поковки, режимов выполнения операции (например, подача при протяжке) и других факторов. Например, пресс усилием 10 МН выбирают дляковки слитка массой 4–8 т, а пресс 30 МН – для слитка 30–60 тЗ. Аналогично назначают молот: дляковки вала массой 100 кг выбирают молот с массой падающих частей 500 кг, а дляковки вала 750 кг – молот 3000 кг.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается процессковки?
2. Преимущества и недостаткиковки.
3. Какие инструменты используются в процессековки?
4. Как подразделяются операцииковки?
5. Что такое операцииосадки и высадки?
6. Что такое операцииотрубки и прошивки?
7. Для чего применяются припуски, допуски и напуски.

## **Тема 6. Объемная штамповка. Виды штампов. Листовая штамповка, классификация операций, оборудование и продукция**

*Ключевые вопросы темы*

1. Ковка.
2. Коэффициент использования металла.
3. Кузнечные слитки.
4. Ковка на прессах и молотах.
5. Разделительные и формообразующие операции.
6. Осадка и высадка
7. Протяжка, прошивка, раскатка
8. Припуски, напуски, допуски.

*Методические рекомендации:*

Штамповка – обработка металлов давлением с помощью штампа, закрепленного в рабочем органе кузнечно-штамповочной машины или незакрепленного. Штамповка делится на объемную и листовую.

По сравнению с ковкой штамповка имеет следующие преимущества:

- возможность получения поковок более сложной формы, с более высокой точностью, с лучшим качеством поверхности;
- больший коэффициент использования металла  $K_{им} = 0,6 \dots 0,9$ ;
- более высокая производительность.

Благодаря высокой производительности штамповка применяется в крупносерийном и массовом производстве.

Объемная штамповка – штамповка изделий или заготовок из сортового проката с обусловленным значительным перераспределением металла в поперечном сечении исходной заготовки. Этот вид штамповки заключается в принудительном заполнении металлом полости штампа и придании ему формы полости. Объемная штамповка подразделяется на горячую (с подогревом исходной заготовки) и холодную.

Листовая штамповка изделий или заготовок из листового или фасонного проката без обусловленного значительного перераспределения металла в поперечном сечении исходной заготовки. Листовая штамповка осуществляется в основном в холодном состоянии.

Горячая объемная штамповка. Исходная заготовка для объемной штамповки – это разделенный сортовой прокат или прессованный пруток. Для объемной штамповки используются молоты, КГШП (кривошипные горячештамповочные прессы), гидравлические прессы, винтовые прессы, ГКМ (горизонтально-ковочные машины).

Штамповки в зависимости от назначения изготавливаемых из них деталей подразделяют на группы по следующим параметрам:

- точность изготовления: нормальной и повышенной точности;
- группа стали: 1-я группа – углеродистые и легированные стали (содержание углерода до 0,45 %, легирующих элементов – до 2 %);

– 2-я группа – легированные стали с большим содержанием легирующих элементов;

– форма и конфигурация поверхности;

– степень сложности  $C = V_{шт}/V_{ф}$ , где  $V_{шт}$  – объем (масса) штамповки,  $V_{ф}$  – объем правильной геометрической фигуры (шар, цилиндр, параллелепипед, призма и др.), в которую вписывается поковка. Различают 4 степени сложности (С): 1)  $C1 > 0,63$ ; 2)  $0,32 < C2 < 0,63$ ; 3)  $0,16 < C3 \leq 0,32$ ; 4)  $C4 \leq 0,16$ .

Например, при штамповке на КГШП они подразделяются на следующие группы:

1-я – осесимметричные, круглые в плане и квадратные. Изготавливаются за 1–3 перехода осадкой в торец или осадкой с одновременным вдавливанием;

2-я – удлиненной формы с небольшой разницей в площадях поперечных сечений;

3-я – то же, со значительной разницей;

4-я – штамповки с изогнутой осью, используются гибочные ручки;

5-я – изготавливаемые выдавливанием, которое может производиться в направлении оси штамповки, а также перпендикулярно.

Штамповку осуществляют в специализированных инструментах – штампах, которые разрабатываются для каждого вида штамповок. Различают две основных разновидности штампов:

1) открытые, предназначенные для штамповки всех видов поковок;

2) закрытые – в основном для штамповки тел вращения.

Открытые штампы характеризуются наличием заусенечной канавки по периметру ручья, в которую вытесняются избытки металла при штамповке и улучшается заполнение ручья, повышается точность. Штамповка в этом случае имеет заусенец, (облой), который обрезается в обрезных штампах и может составлять 16–18 %. Потому штамповка в открытых штампах называется еще облойной штамповкой.

При использовании закрытых штампов металл деформируется в замкнутой полости штампов без образования заусенца, поэтому такую штамповку называют безоблойной. В этом случае объем заготовки должен точно соответствовать объему полости штампов.

Разработка технологии штамповки включает следующие этапы:

1. Конструирование штамповки, разработка ее чертежа, расчет ее объема и массы.

2. Определение способа штамповки (вдоль или перпендикулярно оси заготовки), группы штамповки по классификации.

3. Выбор переходов штамповки.

4. Определение массы, формы и размеров заготовки.

5. Разработка конструкции и чертежа ручья штампа.
6. Выбор типа молота и массы его падающих частей, либо пресса.
7. Составление технологической карты штамповки.

Основное отличие разработки технологического процесса штамповки отковки состоит в том, что разрабатывается конструкция и чертеж специализированного инструмента – штампа (этап 5), в то время как при ковке используется универсальный инструмент.

На первом этапе по чертежу детали разрабатывается чертеж штамповки в соответствии ГОСТом 7505–89 аналогично разработке чертежа поковки. В связи с тем, что штамповкой изготавливаются детали более сложной формы, чертеж штамповки обычно сложнее чертежа поковки и учитывает специфические напуски: штамповочные уклоны для извлечения поковки из штампа, радиусы закруглений и перемычки отверстий. Назначение припусков и допусков аналогично ковке производится по таблицам ГОСТа 7505–89 в зависимости от класса точности, группы стали, степени сложности и конфигурации поверхности разъема штампа (плоская, симметрично изогнутая, несимметрично изогнутая).

Массу падающих частей молота определяют на основе производственного опыта по эмпирическим формулам, которые учитывают удельную работу на один квадратный метр штамповки, площадь ее поверхности, высоту падения бабы молота, механические свойства стали и т. п. Для выбора пресса рассчитывают требуемое усилие штамповки по формулам.

При штамповке на молотах выполняются следующие технологические операции:

- 1) технический контроль исходного проката, штанг;
- 2) транспортировка на разрезку, разрезка на мерные длины;
- 3) нагрев заготовок в нагревательной печи;
- 4) объемная штамповка: в заготовительных и окончательном ручьях;
- 5) обрезка заусенца на обрезном прессе;
- 6) при необходимости – термическая обработка;
- 7) очистка от окалины;
- 8) правка, калибровка в чеканочном штампе;
- 9) маркировка, технический контроль.

По сравнению с горячей холодной объемная штамповка имеет следующие преимущества:

– более высокая точность изделий и механические свойства за счет упрочнения при холодной деформации;

– отсутствие потерь металла в угар, возможность изготовления деталей без последующей механической обработки, большой коэффициент использования металла ( $K_{им} = 0,9...0,93$ );

– более высокая производительность за счет механизации и автоматизации производства, применения многопозиционных штамповочных аппаратов при крупносерийном и массовом производстве.

Довольно широкая область применения холодной штамповки – изготовление гвоздей, метизов и другого крепежа. Исходная заготовка для этого вида штамповки – прутки и проволока, используемая в штамповочном аппарате в виде мотка.

Изделия, получаемые холодной штамповкой, подразделяются на две категории:

1) детали стержневого типа: с головкой простой и сложной формы, с головкой на обоих концах, ступенчатый стержень, с коническим элементом и др.

2) детали осесимметричные полые: гладкие, с отростком в полости, с перемычкой и др.

Различают три группы операций холодной объемной штамповки:

1) осадка, высадка, чеканка;

2) редуцирование, прямое выдавливание;

3) обратное, радиальное и комбинированное выдавливание, вытяжка с утонением стенки.

В промышленности применяют две основные технологические схемы холодной штамповки. Процесс производства деталей по первой схеме состоит из четырех основных этапов:

1) разделка проката на мерные длины;

2) разупрочняющая термическая обработка заготовок;

3) подготовка поверхности заготовок (удаление дефектов и загрязнений, нанесение подмазочного покрытия и смазки);

4) штамповка, как правило, на одно- или многопозиционных вертикальных прессах.

Производство деталей по второй схеме проводится на одно или многопозиционных аппаратах, на которых прокат подвергается правке и разрезке. Этапы 2–4 выполняются в той же последовательности.

Основная особенность листовой штамповки заключается в том, что в качестве исходной заготовки применяется листовый материал: лист шириной 700–2000 мм и длиной 1400–5000 мм; полоса шириной до 200 мм и длиной до 2 м; лента в рулонах шириной до 2,3 м.

В зависимости от толщины заготовки различают тонколистовую ( $h < 4$  мм) и толстолистовую штамповку. В основном она осуществляется в холодном состоянии, однако заготовки толщиной более 15–20 мм штампуют в горячем состоянии.

Листовая штамповка осуществляется в основном на кривошипных прессах простого и двойного действия, применяются также автоматы (многопозиционные кривошипные прессы) и гидравлические прессы (для глубокой вытяжки и для штамповки крупногабаритных деталей). В соответствии с ГОСТом 18970–84 операции листовой штамповки подразделяются на разделительные и формоизменяющие.

Разделительные операции:

- отрезка – полное отделение части заготовки по незамкнутому контуру;
- разрезка – разделение заготовки на части по незамкнутому контуру путем сдвига (с отходом и без отхода);
- вырубка – полное отделение заготовки или изделия от исходной заготовки по замкнутому контуру путем сдвига;
- надрезка – неполное отделение части заготовки путем сдвига;
- проколка – образование в заготовке отверстия без удаления металла в отход;
- пробивка – образование отверстия или паза путем сдвига с удалением отделенной части металла в отход;
- обрезка – удаление излишков металла (припусков, облоя) путем сдвига.

Формообразующие операции проводятся в специальных штампах, состоящих из матрицы, пуансона, прижима и упора.

Формообразующие операции:

- вытяжка – образование полой заготовки или изделия из плоской или полой исходной заготовки. Коэффициент вытяжки определяется как отношение диаметра плоской заготовки к диаметру после вытяжки  $\mu = D_{\text{заг}} / D_{\text{дет}} = 1.2\text{--}2$ ;
- отбортовка – образование борта по внутреннему контуру заготовки с одновременным увеличением диаметра отверстия. Величина отбортовки оценивается коэффициентом  $K_{\text{отб}} = d/d_0$ , где  $d$  и  $d_0$  – соответственно диаметры отверстия после и до отбортовки;
- обжим в штампе – уменьшение размеров поперечного сечения части полой заготовки;
- раздача – увеличение размеров поперечного сечения части полой заготовки. В случае круглого поперечного сечения величина раздачи оценивается коэффициентом  $K_p = D/D_0$ , где  $D$  и  $D_0$  – соответственно диаметры заготовки после и до раздачи;
- рельефная формовка – образование рельефа за счет местных растяжений без обусловленного изменения толщины стенки;
- гибка – образование или изменение углов между частями заготовки или придание ей криволинейной формы.

Контрольные вопросы

1. Преимущества штамповки перед ковкой.
2. Что такое объемная штамповка, какие используются заготовки?
3. В чем заключается отличия горячей и холодной штамповки.
4. Основные разновидности штампов, их различия.
5. Порядок технологических операций штамповки.
6. Что относится к разделительным операциям листовой штамповки?
7. Что относится к формообразующим операциям листовой штамповки?

## **2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ**

Целью практических занятий является практическое освоение студентами дисциплины, умений в выборе методов и способов проектирования, расчетов деталей и изделий по всем разделам изучаемого курса.

В результате освоения практических занятий по дисциплине обучающийся должен:

- знать современные методы расчета и проектирования деталей использование оборудования и инструмента при обработке металлов давлением в современном производстве;
- уметь работать с нормативными документами и справочной литературой, уделять внимание правильному выбору конструкционных материалов и технологий для получения деталей и изделий при обработке металлов давлением;
- владеть навыками в выборе оптимальных способов расчета и получения заготовок или готового изделия; базовыми знаниями по освоению практических навыков для различных способов расчета и конструирования деталей и заготовок,

В результате освоения материала практических занятий, происходит поэтапное формирование и освоение компетенции, обучающихся студентов, приведенных в таблице 3.

Таблица 3 – Практические занятия

Номер ПЗ	Номер темы дисциплины	Наименование практического занятия
1	1	Изучение способов обработки металла давлением, исходный материал и сортамент: слитки, заготовки и сортовой прокат
2	2	Обработка металлов прокатом. Классификация прокатных станков. Продукция прокатного производства
3	2	Классификация операцийковки, расчет массы исходной

Номер ПЗ	Номер темы дисциплины	Наименование практического занятия
		заготовки, выбор ковочного оборудования
4	2	Прессование и волочение металла. Способы получения и виды продукции
5	3	Объемная штамповка. Виды штампов. Листовая штамповка, классификация операций, оборудование и продукция

**Практическое занятие № 1.** Изучение способов обработки металла давлением, исходный материал и сортамент: слитки, заготовки и сортовой прокат.

*Цель работы:* рассмотреть исходный материал и сортамент, который применяется для процессов кузнечно-штамповочного производства (КШП), получение практических умений и навыков получения заготовок.

*Задания по практической работе.* В качестве исходного материала применяют слитки металла в виде блюмов, слябов. Рассмотреть конструкции изложниц для разливки металла. Определить какой вид исходного материала применяют при прокатке, прессовании, волочении, штамповки. Рассмотреть основные процессы КШП, виды сортового металла, его профили и размеры (ГОСТ 4693-83, ГОСТ 2590-88, 2591-88, 8559-75), где они применяются, рассмотреть возможные отклонения от размеров профилей проката.

*Контрольные вопросы:*

1. В чем отличие блюмов и слябов?
2. Какой вид сортамента применяют для прокатки, волочения, штамповки?
3. В чем суть получения прессованных профилей и заготовок?
4. Какой материал применяют при листовой штамповке?
5. От чего зависят отклонения круглой и калиброванной стали?
6. Чем отличается прессование с прямым и обратным истечением металла?

**Практическое занятие № 2.** Обработка металлов прокатом. Классификация прокатных станов. Продукция прокатного производства.

*Цель работы:* получение практических умений и навыков разработки схемы проката металла. Рассмотреть классификацию прокатных станов по числу валков, расположению и количеству рабочих клеток, по назначению; по применяемым заготовкам и полученной продукции.

*Задания по практической работе.* Определить какие применяются схемы проката и в каких случаях. Рассмотреть разновидности прокатки (продольная, винтовая, поперечная, планетарная и др.); по числу валков в клети: 2-валковые (дуо), 3(трио)-, 4(кварто)-, мнговалковые (до 20 в планетарных станах). Изучить прокатные станы по назначению:

– горячей прокатки: обжимные, заготовочные, рельсобалочные, крупно-, средне- и мелкосортные, толстолистовые, тонколистовые, среднелистовые, штрипсовые, трубные (непрерывные, автоматические, пилигримовые, речные) и др.;

– холодной прокатки: листовые и трубные (валковые, роликовые и валково-роликовые); специального назначения (колесопрокатные, прокатки шаров, полос переменного сечения и др.).

Разобрать разновидности прокатного полупродукта и готовой продукции: блюм – это полупродукт квадратного или близкого к квадратному сечения; сляб – это полупродукт прямоугольного сечения для последующей горячей прокатки листов из блюмов; сортовой прокат (делится на простые и фасонные профили). Простые профили (круг, квадрат, шестиугольник, прямоугольник, полоса). Фасонные профили (уголок, тавр, швеллер, двутавр, рельс, зетовый прокатывают также из заготовки. Горячекатаный лист, холоднокатаный лист, сварные трубы, бесшовные трубы. Виды печей для нагрева заготовок.

#### Контрольные вопросы

1. Перечислите разновидности способов прокатки.
2. Как классифицируются прокатные станы по числу валков?
3. Что применяют в качестве исходных заготовок для проката?
4. Цель нагрева слитков, где производится нагрев заготовок?
5. Разновидности прокатного полупродукта и готовой продукции.
6. Что входит в состав сортового проката?
7. Сортамент продукции при производстве листов, труб, спец. проката

**Практическое занятие № 3.** Классификация операций ковки, расчет массы исходной заготовки, выбор ковочного оборудования.

*Цель работы:* изучить группы и назначение операций ковки. Разобрать кузнечные операции: предварительные, основные, вспомогательные и отделочные. Рассмотреть ковочное оборудование.

*Задания по практической работе.* Определить различие в инструментах для ковки и штамповки. Разобрать группы поковок в зависимости от их формы (ГОСТ 7062 90 таблица 2.1):

поковки удлиненной формы сплошные круглого сечения – валы (гладкие, с уступами, с выемкой, с буртом, с фланцем);

– сплошные прямоугольного (квадратного) сечения тех же типов;

– полые (с отверстием) (полые валы);

поковки умеренной длины:

– цилиндры,

- бруски, кубики, пластины без отверстия и с отверстием,
- раскатные кольца,
- муфты, втулки;

короткие поковки – диски без отверстия и с отверстием.

Разработать порядок получения чертежа поковки. Перечислить все характеристики кузнечных операций (разделительных и формообразующих). Определить составляющие элементы формулы массы заготовки. Рассмотреть конструкции ковочных молотов и прессов.

#### Контрольные вопросы

1. В чем отличие изготовления поволоков ковкой и штамповкой?
2. На какие группы делятся поковки в зависимости от формы?
3. В чем заключаются операции осадки, высадки, прошивки?
4. В чем заключаются операции протяжки, раскатки, раскатки на оправке?
5. Чем отличается определение массы заготовки при поковке из слитка или катаной (кованой) заготовки?
6. Что такое выдра при прошивке отверстий в поковке?
7. Как определяется масса металла при обесечке и отхода на угар?

**Практическое занятие № 4.** Прессование и волочение металла. Способы получения и виды продукции.

*Цель работы:* получение практических умений и навыков работы устройств оборудования для прессования изделий, изучить схемы прессования полнотелых и пустотелых деталей, рассмотреть способы и номенклатуру деталей, полученных волочением.

*Задания по практической работе.* Рассмотреть типы станков, основные узлы и приспособления для прессования металла. Рассмотреть схемы прессования деталей полнотелых и с отверстиями. Изучить типы матриц для получения различных профилей деталей. Рассмотреть устройство волоки состоящей из двух деталей – обоймы и собственно волоки., номенклатуру изделий, получаемых волочением.

#### Контрольные вопросы

1. Что такое прессование заготовок?
2. Сортамент изделий, получаемых прессованием.
3. Какие прессы используются при прессовании?
4. Как подразделяются барабанные станы в зависимости от количества волок?
5. Каким отделочным операциям подвергают прессованные изделия?
6. Чем отличается прямой и обратный метод прессования?

**Практическое занятие № 5.** Операции штамповки, конструкции штампов. Листовая штамповка.

*Цель работы:* получение практических умений и навыков проектирования конструкции штампов, отличие горячей и холодной штамповки. Разобрать схемы многоручьевого штампа, способы выдавливания металла. Разобраться к классификации операций листовой штамповки.

*Задания по практической работе.* Изучить конструкцию открытых и закрытых штампов. Разработать чертеж поковки: выбрать поверхность разъема, установить штамповочные уклоны, назначить припуски, допуски напуски по предложенному чертежу детали. Рассмотреть схемы прямого выдавливания, обратного, бокового, радиального и комбинированного. Принцип классификации операций листовой штамповки. рассчитать усилия пробивки, вырубки и вытяжки по предложенному примеру.

Контрольные вопросы

1. В чем отличие структуры металла при холодной и горячей штамповке?
2. Отличие в конструкции открытого и закрытого штампа?
3. Объясните разницу в прямом и обратном выдавливании?
4. Перечислите разделительные операции листовой штамповки.
5. Перечислите формообразующие операции листовой штамповки.
6. Какое оборудование используется при листовой штамповке?

### **3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ**

Согласно учебному плану дисциплины «Технологии обработки металла давлением» направления подготовки 15.03.01 Машиностроение, студенты заочной формы обучения закрепляют изучаемый материал, самостоятельно в виде выполнения контрольной работы. Ответы на рассматриваемые вопросы должны излагаться по существу, быть четкими, полными и ясными. При ответе на вопросы студент должен использовать не только учебную литературу, но и статьи, публикуемые в периодической печати, указывая в работе источники информации.

Текстовая часть работы может быть иллюстрирована рисунками, схемами, таблицами. В конце приводится список использованных источников.

Работа должна быть выполнена на листах формата А4 с одной стороны листа, в печатном варианте. Шрифт текстовой части размер – 12 (для заголовков – 14), вид шрифта – Times New Roman, интервал 1,5. Поля страницы: левое – 3 см, правое – 1,5 см., верхнее и нижнее – 2 см. Нумерация страниц внизу справа.

Вариант контрольной работы принимается по электронному номеру зачетки.

Структура контрольной работы:

- титульный лист (приложение);
- содержание;
- текстовая часть (каждый вопрос начинать с нового листа);
- список используемой литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.001-2003, ГОСТ 7.82-2001.

В текстовой части не допускается сокращение слов. Объем выполненной работы не должен превышать 15 листов А4. Контрольная работа должна быть оформлена в соответствии с общими требованиями, предъявляемыми к контрольным работам:

- текст должен быть отпечатан на компьютере;
- основной текст подразделяется на озаглавленные части в соответствии с содержанием работы. Заглавия не подчеркиваются, в конце заголовка точка не ставится, переносы допускаются;
- страницы текста пронумерованы арабскими цифрами в правом верхнем углу без точек. Титульный лист считается первым и не нумеруется;
- на каждой странице оставлены поля для замечаний рецензента;
- список использованных источников оформляются по соответствующим требованиям.

Стиль и язык изложения материала контрольной работы должны быть четкими, ясными и грамотными. Грамматические и синтаксические ошибки недопустимы. Выполненная контрольная работа представляется для регистрации на кафедру, затем поступает на рецензирование преподавателю. Положительная оценка («зачтено») выставляется в зависимости от полноты раскрытия вопроса и объема предоставленного материала в контрольной работе, а также степени его усвоения, которая выявляется при ее защите (умение использовать при ответе на вопросы научную терминологию, лингвистически и логически правильно отвечать на вопросы по проработанному материалу).

Контрольная работа с оценкой «не зачтено» возвращается студенту с рецензией, выполняется студентом вновь и сдается вместе с не зачтенной работой на проверку преподавателю. Контрольная работа, выполненная не по своему варианту, возвращается без проверки и зачета.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бондаренко, Г. Г. Материаловедение: учебник / Г. Г. Бондаренко, Т. А. Кабанова, В. В. Рыбалко; под ред. Г. Г. Бондаренко. – 2-е изд. – Москва: Юрайт, 2013. – 360 с. – ISBN 978-5-9916-2843-3.
2. Зубарев, Ю. М. Методы получения заготовок в машиностроении и расчет припусков на их обработку: учеб. пособие для вузов / Ю. М. Зубарев. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 256 с.
3. Константинов, И. Л. Основы технологических процессов обработки металлов давлением: учебник / И. Л. Константинов, С. Б. Сидельников; Сибирский федеральный университет. – Красноярск: Сибирский федеральный университет (СФУ), 2015. – 488 с.
4. Маталин, А. А. Технология машиностроения: учебник / А. А. Маталин. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2010. – 512 с. – ISBN 978-5-8114-0771-2.
5. Материаловедение и технология металлов: учебник / Г. П. Фетисов [и др.]. – Москва: Высшая школа, 2001. – 640 с. – ISBN 5-06-003616-2.
6. Мышечкин, А. А. Технология, оборудование и оснастка для изготовления деталей методами пластической деформации: учеб. пособие / А. А. Мышечкин, И. В. Белоусов, С. В. Скрипник. – Москва: РТУ МИРЭА, 2022. – Ч. 1. – 2022. – 115 с.
7. Плошкин, В. В. Материаловедение: учеб. пособие / В. В. Плошкин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Юрайт, 2013. – 464 с. – ISBN 978-5-9916-2480-0.
8. Попов, Е. А. Технология и автоматизация листовой штамповки / Е. А. Попов, В. Г. Ковалев, И. Н. Шубин. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 480 с.
9. Обработка металлов давлением / Ю. Ф. Шевакин, В. Н. Чернышев, Р. Л. Шаталов, Н. А. Мочалов. – Москва: Интермет Инжиниринг, 2005. – 492 с.
10. Солнцев, Ю. П. Материаловедение: учебник / Ю. П. Солнцев, Е. И. Пряхин. – 3-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург: ХИМИЗДАТ, 2004. – 736 с. – ISBN 5-93808-075-4.
11. Специальные технологические процессы и оборудование обработки давлением / В. А. Голенков [и др.]; под ред. В. А. Голенкова, А. М. Дмитриева. – Москва: Машиностроение, 2004. – 464 с.
12. Шилов, В. А. Технология прокатного производства: учеб. пособие для вузов / В. А. Шилов, Д. Л. Шварц. – Екатеринбург: Изд-во УГТУ-УПИ, 2006. – 125 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

### «Калининградский государственный технический университет»

Институт агроинженерии и пищевых систем

Кафедра инжиниринга технологического оборудования

Контрольная работа  
допущена к защите  
Руководитель \_\_\_\_\_  
(уч. степень, звание,  
должность)  
\_\_\_\_\_ И.О. Фамилия  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 202\_\_ г.

Контрольная работа  
защищена  
Руководитель \_\_\_\_\_  
(уч. степень, звание, должность)  
\_\_\_\_\_ И.О. Фамилия  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 202\_\_ г.

Контрольная работа  
по дисциплине

### ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ДАВЛЕНИЕМ

Шифр студента \_\_\_\_\_  
Вариант № \_\_\_\_\_

Работу выполнил:  
студент гр. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ Фамилия И.О.  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 202\_\_ г.

Калининград 20\_\_

Локальный электронный методический материал

Валерий Сергеевич Бедарев

## ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Редактор С. Кондрашова

Корректор Т. Звада

Уч.-изд. л. 2,8. Печ. л. 2,5.

Издательство федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Калининградский государственный технический университет».  
236022, Калининград, Советский проспект, 1