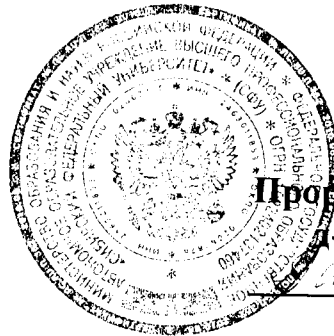


**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ**

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Сибирский федеральный университет»**



**УТВЕРЖДАЮ:**

**Проректор по учебной работе  
д-р пед. наук, профессор  
Н.В. Гафурова**

**ПРОГРАММА  
кандидатского экзамена  
по специальности 05.16.05 - Обработка металлов давлением**

**Красноярск  
2012**

## ПРОГРАММА-МИНИМУМ

кандидатского экзамена по специальности 05.16.05 «Обработка металлов давлением»  
по техническим наукам

### Введение

В основу настоящей программы положены следующие дисциплины: теория обработки металлов давлением; основы теорий процессов обработки металлов давлением; технологии производства продукции методами обработки металлов давлением.

Программа разработана экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Министерства образования Российской Федерации по металлургии и металловедению при участии Московского государственного института стали и сплавов (технологического университета).

## 1. Теория обработки металлов давлением (ОМД)

### 1.1. Основные этапы развития теории процессов ОМД и ее влияние на развитие технологических процессов и оборудования.

#### 1.2. Теория пластичности

Деформация сплошной среды. Переменные Лагранжа и Эйлера. Тензоры конечных деформаций. Тензор малой деформации. Девиатор деформации. Инварианты тензора и девиатора деформации. Главные деформации, интенсивность деформаций сдвига.

Течение сплошной среды. Поле вектора скорости. Линии тока и траектории. Тензор и девиатор скорости деформации, их инварианты. Главные скорости деформации, интенсивность скоростей деформаций сдвига. Степень деформации сдвига. Функции тока. Уравнение неразрывности и несжимаемости.

Напряжения. Пластическое состояние. Напряженное состояние. Тензор напряжений, девиатор напряжений и их инварианты. Главные нормальные и касательные напряжения. Напряжения на наклонной площадке. Уравнения связи напряженного и деформированного состояний. Простейшие реологические модели. Условия пластичности. Краевая задача теории пластичности. Методы решения краевых задач.

#### 1.3. Физические основы пластической деформации металлов и сплавов

Строение металлов. Анизотропия свойств монокристаллов. Дефекты кристаллического строения металлов.

Пластическая деформация монокристаллов. Механизмы деформации. Скольжение. Системы скольжения в кристаллах различного типа (ГЦК, ОЦК, ГПУ). Основы теории дислокаций. Пластическая деформация с позиций теории дислокации.

Температурно-скоростные зависимости характеристик прочности и пластичности монокристаллов.

Пластическая деформация и разрушение поликристаллов. Особенности деформации поликристаллов. Неравномерность деформации. Механизмы деформации и упрочнения поликристаллов. Влияние холодной деформации на структуру и свойства поликристаллов. Процессы, происходящие при нагреве наклепанного металла: возврат, полигонизация, рекристаллизация. Влияние нагрева на структуру и свойства наклепанного металла. Диаграмма рекристаллизации 1-го рода. Горячая деформация поликристаллов. Особенности и механизмы. Механизмы термической пластичности. Влияние горячей деформации на структуру и свойства. Диаграмма рекристаллизации 2-го рода. Классификация процессов ОМД по температурным условиям.

#### **1.4. Методы экспериментальных исследований процессов ОМД**

Теория подобия в процессах ОМД.

Тензометрирование и его использование для исследования напряжений, усилий деформирования, перемещений, скоростей и др.

Методы исследования деформаций: координатные сетки, линии тока, муаровые полосы. Оптические методы исследования деформаций и напряжений. Исследования деформированного состояния методом твердости, рекристаллизованного зерна и рентгенографическими методами. Границы применимости экспериментальных методов, их точность и чувствительность.

Методы планирования экспериментов и обработка экспериментальных данных.

#### **1.5. Внешнее трение в процессах ОМД**

Физическая природа трения. Виды и законы трения. Зависимость сил трения от температуры, степени и скорости деформирования, давления, физико-химических свойств контактируемых поверхностей и других факторов. Анизотропия трения. Методы экспериментального исследования трения. Смазки, их свойства, назначение и основные требования к ним.

#### **1.6. Сопротивление металлов пластическому деформированию**

Сопротивление деформации: определение, влияние степени и скорости деформации, температуры, истории деформирования, внешней среды. Экспериментальные методы определения, расчет сопротивления деформации.

#### **1.7. Аналитические методы определения усилий деформации**

Метод совместного решения дифференциального уравнения равновесия и уравнения пластичности, методы линий скольжения и характеристик, метод работ, вариационные методы. Сопоставление различных методов расчета усилий.

Работа и мощность деформации. Тепловыделения в процессе деформации.

#### **1.8. Пластичность и разрушение**

Пластичность и деформируемость металлов и методы определения. Основные факторы, влияющие на пластичность, схема напряженного состояния, внешняя среда и др. Виды разрушения при пластической деформации. Феноменологические теории разрушения. Трещины. Теория Гриффитса. Накопление повреждений. Диаграмма пластичности. Деформация металлических материалов в состоянии сверхпластичности.

#### **1.9. Основы математического моделирования процессов ОМД**

Понятие математической модели, общие принципы и этапы построения математической модели. Применение численных методов для анализа и расчета процессов ОМД. Постановка и пути решения оптимизационных задач.

### **2. Основы теории процессов обработки металлов давлением**

#### **2.1. Теория продольной прокатки на гладкой бочке**

Очаг деформации, совокупность параметров, описывающих его геометрию. Условия захвата полосы валками. Трение при захвате и установившемся процессе прокатки. Влияние технологических и конструктивных параметров на условия захвата полосы валками. Анализ скоростей пластического течения в очаге деформации. опережение, отставание, расчетные формулы для их определения. Нейтральный угол. Связь между характеристическими углами. Влияние технологических параметров на размер опережения.

Уширение и факторы, влияющие на его значение. Неравномерность уширения в очаге деформации. Влияние формы (геометрии) очага деформации, внешних зон, температуры, условий трения и структурного состояния на значение уширения.

Контактные напряжения при прокатке (плоская задача). Дифференциальное уравнение контактных напряжений. Контактное напряжение в очаге деформации при постоянном значении коэффициента трения. Экспериментальные исследования распределения контактных напряжений и их зависимость от параметров процесса.

Распределение деформаций и напряжений в объеме очага деформации в зависимости от фактора формы очага деформации.

Усилие прокатки и факторы, определяющие его значение. Влияние условий трения, натяжения, ширины полосы и внешних зон на контактное давление. Особенности расчета усилий в зависимости от фактора формы очага деформации.

Энергия, затрачиваемая на прокатку, методы определения работы и мощности прокатки.

Момент прокатки. Коэффициент плеча равнодействующей и методы его определения.

Факторы, влияющие на положение равнодействующей.

Температурные условия в очаге деформации. Расчет температуры металла при прокатке.

## **2.2. Теория прокатки в калибрах**

Особенности процесса прокатки в калибрах. Аналитическое описание формы калибров, показатель и коэффициент формы. Уравнение постоянства объемов при прокатке в калибрах. Критерий неравномерности распределения обжатий по ширине калибра. Внеконтактная деформация и понятие средней вытяжки в калибрах. Неравномерность деформации при прокатке в калибрах. Зоны затрудненной деформации.

Влияние формы калибра и раската на формоизменение и напряженное состояние металла.

Расчет уширения в калибрах. Распределение контактных напряжений в очаге деформации.

Расчет среднего давления и усилий прокатки в калибрах.

## **2.3. Радиально-сдвиговая и поперечная прокатка**

Кинематические и энергосиловые параметры процесса радиально-сдвиговой прокатки.

Принципы построения очага деформации, расчет калибровки валков при больших углах подачи.

Поперечная прокатка. Скоростные условия. Угол нейтрального сечения и условия вращения заготовки. Деформационные параметры. Силовые условия. Напряженное состояние металла.

## **2.4. Теория процессов прокатки бесшовных труб**

Винтовая прокатка. Особенности процесса, очаг деформации и его параметры.

Скоростные условия. Распределение контактных напряжений в очаге деформации.

Условия захвата заготовки валками и стабильность процесса. Напряженно-деформированное состояние металла при винтовой прокатке. Энергосиловые параметры процесса.

Теоретические основы процесса редуцирования.

Пилигримовая прокатка. Особенности деформации металла. Скоростные условия. Зоны опережения и отставания. Направление сил трения в очаге деформации. Условия захвата металла валками. Энергосиловые параметры процесса.

Холодная периодическая прокатка труб. Схема процесса прокатки на станах ХПТ, ХПТС, ХПТР и особенности пластического формоизменения металла. Напряженно-деформированное состояние металла. Условия захвата металла валками. Скоростные условия. Энергосиловые параметры процесса.

## **2.5. Теория процессов производства сварных труб**

Способы формовки трубной заготовки в холодном и горячем состоянии. Напряженно-деформированное состояние металла в процессах непрерывной формовки заготовки в холодном и горячем состоянии.

Кинематические условия и энергосиловые параметры при прямошовной формовке. Методы их расчета.

Особенности деформации металла в процессах формовки листов на прессах. Распределение напряжений и деформаций по ширине и высоте листов. Определение потребного усилия прессового оборудования.

Особенности деформации металла при экспандировании. Определение оптимального значения экспандирования и потребной мощности.

## **2.6. Теория волочения**

Разновидности процесса волочения, деформационные показатели. Напряженно-деформированное состояние металла. Особенности контактного трения при волочении. Расчетные методы определения напряжений и усилия волочения. Предельное и оптимальное значение коэффициента вытяжки при волочении.

## **2.7. Теория прессования**

Сущность и разновидности процессов прессования. Закономерности течения металла при прессовании прутков, профилей труб и напряженно-деформированное состояние металла. Температурные условия процессов прессования. Особенности трения при прессовании. Силовые условия процессов прессования.

## **2.8. Теорияковки**

Геометрические параметры очага деформации для различных процессовковки, их влияние на распределение напряжений и деформаций при протяжке, осадке, прошивке, разгонке и др. Напряжения и деформации приковке плоскими, комбинированными и вырезными бойками. Особенности трения на поверхности контакта инструмента с металлом. Скольжение, торможение и застой на поверхности контакта. Зоны деформации при осадке цилиндрических заготовок плоскими бойками. Неравномерность деформации при осадке. Напряженное состояние металла при осадке. Расчет контактных напряжений и усилий при осадке и вытяжке.

## **2.9. Теорияштамповки**

Объемная штамповка. Характеристика разновидностей объемной штамповки. Напряженно-деформированное состояние в процессах объемной штамповки. Стадии объемной штамповки. Анализ течения металла в штампе. Термомеханические режимы штамповки. Изотермическая штамповка и штамповка в режиме сверхпластичности. Методы расчета деформирующих усилий при объемной штамповке.

Листовая штамповка и формовка. Особенности деформирования металла при операциях листовой штамповки (разделительных и формообразующих). Анализ напряженно-деформированного состояния металла в различных процессах листовой штамповки. Методы расчета усилий, напряжений и деформаций.

Формовка. Очаг деформирования и анализ напряженно-деформированного состояния. Расчет усилий и деформаций при формовке.

## **2.10. Особенности построения математических моделей процессов ОМД**

Моделирование процессов: продольная прокатка на гладкой бочке; прокатка в калибрах; радиально-сдвиговая и поперечная прокатка; винтовая прокатка; пилигримовая прокатка;

прокатка сварных труб; холодная прокатка труб; волочение; прессование; ковка; объемная и листовая штамповка.

### **3. Технологии производства продукции методами обработки металлов давлением**

#### **3.1. Технология прокатного производства**

Профильный и марочный сортамент прокатного производства черных и цветных металлов. Способы производства слитков и заготовок.

Технология нагрева исходных материалов перед прокаткой и охлаждения после прокатки.

Системы вытяжных калибров, их характеристика и методики расчета. Калибровка валков для прокатки блюмов и заготовок простых и фасонных сортовых профилей. Методики расчета калибровки валков прокатного стана, маршрутная схема прокатки. Управление профилем и формой полос.

Основные технологические схемы и оборудование для производства полупродукта, крупносортовой, среднесортовой, мелкосортовой стали и катанки, горячекатаного и холоднокатаного листа, гнутых и фасонных холоднокатаных профилей. Особенности производства специальных профилей проката (периодические профили, колеса, бандажи, кольца, шары и т.д.)

Совмещенные технологические процессы в производстве листовой и сортовой продукции. Технологические особенности прокатки непрерывнолитого металла.

Характеристика качества продукции прокатного производства, схемы технологических процессов отделки исходных материалов и готовой продукции. Контроль качества, способы удаления дефектов.

Технологические операции придания дополнительных служебных свойств прокату (термообработка, нанесение покрытий и т.д.).

Основы автоматизации технологических процессов.

Технико-экономические показатели производства листовой и сортовой продукции.

#### **3.2. Технология производства бесшовных труб**

Сортамент и методы испытаний стальных труб. Характеристика основного оборудования и технологий производства трубных заготовок. Режимы нагрева. Виды брака при нагреве, способы его предотвращения и устранения.

Характеристика и классификация технологических процессов производства горячедеформированных бесшовных труб. Прошивка заготовок. Раскатка гильз в черновые (передельные) трубы. Калибрование и редуцирование труб. Производство труб на различных трубопрокатных агрегатах. Режимы деформации труб и расчет таблиц прокатки. Расчет калибровки технологического инструмента. Производство труб прессованием. Технология непрерывной безоправочной прокатки труб. Качество бесшовных труб. Технико-экономические показатели производства бесшовных труб. Технологические схемы и оборудование для производства холоднодеформированных труб. Расчет режимов и маршрутов прокатки труб на станах ХПТ, ХПТС, ХПТР. Методы расчета калибровки инструмента станов холодной прокатки труб.

Технология и принципы расчета маршрутов волочения труб. Отделочные операции при холодной прокатке и волочении труб. Качество холоднодеформированных труб.

#### **3.3. Технология производства сварных труб**

Общая характеристика технологического процесса, основные операции процесса. Подготовка листового металла в сварке. Технология производства труб непрерывной печной сваркой, электросваркой на непрерывных трубоэлектросварочных агрегатах, дуговой сваркой под слоем флюса прямошовных, спиральношовных и многошовных труб.

Принципы расчета таблиц прокатки. Основные методы расчета калибровки технологического инструмента трубоформовочного и трубосварочного оборудования. Новые процессы производства сварных труб: электронно-лучевая сварка труб, сварка труб плазменной дугой и др. Качество сварных труб. Техничко-экономические показатели производства сварных труб. Тенденции развития производства бесшовных и сварных труб.

### **3.4. Технология волочильного производства**

Сортамент и основные требования, предъявляемые к качеству изделий, получаемых волочением. Технологический процесс и основное оборудование для производства прутков, труб, проволоки, калиброванного металла и фасонных профилей волочением. Основные операции подготовки поверхности заготовки. Влияние параметров технологического процесса производства на формирование показателей качества готовых изделий, методы оценки качества и основные отделочные операции. Современные непрерывные линии подготовки заготовки и отделки готовой продукции. Тенденции развития технологии и оборудования волочильного производства.

### **3.5. Технология прессования**

Типовые технологические схемы производства прессованных полуфабрикатов и изделий. Разновидности процесса прессования по условиям контактного взаимодействия заготовки с инструментом, температурным условиям и типу инструмента и инструментальных комплектов.

Способы получения пресс-изделий различных типов. Особенности прессования различных металлов и сплавов. Управление течением металла и свойствами пресс-изделий.

Прессовое оборудование, проектирование технологического инструмента.

### **3.6. Технология ковки**

Заготовки для поковки: слитки, непрерывно-литые и прокатанные заготовки, их макростроение (геометрические модели). Нагрев металла перед ковкой; математические модели теплового состояния слитков и заготовок, типы тепловых полей. Основные типы агрегатов дляковки: интегрированные и автоматизированные комплексы, радиально-обжимные машины.

Потоки и схемы пластического течения металла при ковке, способы их регулирования. Деформационные возможности металла при ковке, способы их регулирования. Деформационные возможности кузнечного инструмента в создании и преобразовании полей напряжений и деформаций металла и формирования физико-механических свойств металла поковки.

Разновидности операцийковки, оборудования и режимы отделки, методы управления и контроля за качеством продукции ковочного производства.

### **3.7. Технология объемной штамповки**

Сортамент продукции и характеристика исходных заготовок. Технологические процессы объемной штамповки. Расчет технологических параметров. Разработка стадий технологического процесса объемной штамповки. Выбор технологического оборудования. Особенности автоматизации процессов. Отделочные операции и пути повышения качества штампованных поволоков. Особенности эксплуатации штампов, стойкость и применение смазочно-охлаждающих жидкостей. Перспективы развития технологии и оборудования объемной штамповки.

### **3.8. Технология листовой штамповки и формовки**

Сортамент продукции и характеристика исходных материалов. Технологические процессы листовой штамповки и формовки, области применения и классификация изделий. Особенности механизации и автоматизации технологических процессов. Технологическая оснастка: эксплуатация и применение смазочно-охлаждающих жидкостей. Перспективы разработки новых процессов и оборудования.

### **3.9. Специальные технологии производства продукции**

Импульсное (высокоскоростное) нагружение в процессах деформирования металлов. Механизмы пластической деформации, температурно-скоростные условия деформации, неравномерность течения металла под действием импульсных нагрузок. Сортамент продукции. Основные технологические операции и оборудование.

Производство полуфабрикатов и изделий из порошковых материалов методами прокатки, прессования (экструзии), обработки взрывом, аэро- и газостатического прессования. Особенности воздействия давлением на обрабатываемый материал. Температурно-скоростные условия деформации, неравномерность деформаций влияния среды обработки на свойства материала.

Производство композиционных материалов (слоистых, волокнистых, дисперсно-упрочненных) с использованием процессов прокатки и прессования. Схемы технологических процессов, анализ напряженно-деформированного состояния материала, силовые параметры процессов. Качество продукции.

Материалы, получаемые с применением СВС- (самораспространяющийся высокотемпературный синтез) процесса. Основы теории и технологии процесса СВС. Процессы, основанные на совмещении СВС и ОМД: СВС-компактирование, СВС-экструзия, СВС-прокатка, в том числе в вакууме. Основные технологические операции и оборудование.

### **3.10. Основы ресурсо- и энергосбережения в технологических процессах ОМД**

Виды производств: листопрокатное, сортопрокатное, трубопрокатное, волочильное, прессовое, кузнечно-штамповочное, специальные.

### **3.11. Экологические аспекты в технологических процессах ОМД.**

#### **Основная литература**

1. Колмогоров В.Л. Механика обработки металлов давлением: Учебник для вузов. М.: Металлургия, 1986. (1-е изд.); Екатеринбург: УГТУ — УПИ. 2001. (2-е изд.).
2. Гун Г.Я. Теоретические основы обработки металлов давлением (теория пластичности): Учебник для вузов. М.: Металлургия, 1980.
3. Тюрин В.А., Мохов А.И. Теория обработки металлов давлением: Учебник для вузов / Под ред. проф. В.А. Тюрин. Волгоград: РПК «Политехник», 2000.
4. Гун Г.Я. Математическое моделирование процессов обработки металлов давлением: Учебное пособие для вузов. М.: Металлургия, 1983.
5. Полухин П.И., Горелик С.С., Воронцов В.К. Физические основы пластической деформации: Учебное пособие для вузов. М.: Металлургия, 1982.
6. Физическое металловедение: Учебник для вузов / С.В. Грачев, В.Р. Бараз, А.А. Богатов, В.П. Швейкин. Екатеринбург: УГТУ – УПИ, 2000.
7. Целиков А.И., Никитин Г.С., Рокотян С.Е. Теория продольной прокатки: Учебник для вузов. М.: Металлургия, 1980.
8. Потапов И.Н., Коликов А.П., Друян В.И. Теория трубного производства: Учебник для вузов. М.: Металлургия, 1991.



9. Охрименко Я.М., Тюрин В.А. Теория процессовковки: Учебное пособие для вузов. М.: Высш. школа. 1977.
10. Перлин И.Л., Райтбарт Л.Х. Теория прессования металлов: Учебник для вузов. М.: Metallurgia, 1975.
11. Перлин И.Л., Ерманок М.З. Теория волочения: Учебник для вузов. М.: Metallurgia, 1971.
12. Прокатное производство: Учебник для вузов / П.И. Полухин, Н.М. Федосов, А.А. Королев, Ю.М. Матвеев. М.: Metallurgia, 1960 (1-е изд.); 1968 (2-е изд.).
13. Смирнов В.К., Шилов В.А., Инарович Ю.В. Калибровка прокатных валков. М.: Metallurgia. 1987.
14. Технология обработки давлением цветных металлов и сплавов: Учебник для вузов / А.В. Зиновьев, А.И. Колпашников, П.И. Полухин и др. М.: Metallurgia, 1992.
15. Технология производства труб: Учебник для вузов / И.Н. Потапов, А.П. Коликов, В.Н. Данченко и др. М.: Metallurgia, 1994.

### **Дополнительная литература**

16. Кучеряев Б.В. Механика сплошных сред: Учебник для вузов. М.: Изд-во МИСиС, 2000.
17. Экспериментальные методы механики деформируемых твердых тел (технологические задачи обработки давлением) / В.К. Воронцов, П.И. Полухин, В.А. Белевитин, В.В. Бринза. М.: Metallurgia, 1990.
18. Грудев А.П. Теория прокатки: Учебник для вузов. М.: Metallurgia, 1988.
19. Теория прокатки: Справочник / А.И. Целиков, А.Д. Томленов, В.И. Зюзин и др. М.: Metallurgia, 1982.
20. Теорияковки и штамповки: Учебное пособие для вузов / Под ред. Е.П. Унксова и А.Г. Овчинникова. М.: Машиностроение, 1993.
21. Осадчий В.Я., Воронцов А.Л., Безносиков И.И. Теория и расчеты технологических параметров штамповки выдавливанием: Учебное пособие для вузов. М.: МГАПИ, 2001.
22. Бережной В.Л., Щерба В.Н., Батурин А.И. Прессование с активным действием сил трения. М.: Metallurgia, 1988.
23. Грудев А.П., Машкин Л.Ф., Ханин Л.И. Технология прокатного производства: Учебник для вузов. М.: Metallurgia, 1994.
24. Технология прокатного производства: Справочник. В 2 кн. / Под ред. В.И. Зюзина и А.В. Третьякова. М.: Metallurgia. 1991.
25. Технология и оборудование трубного производства: Учебник для вузов / В.Я. Осадчий, А.С. Вавилин, В.Г. Зимовец, А.П. Коликов. М.: Интернет Инжиниринг, 2001.
26. Новые процессы деформации металлов и сплавов: Учебное пособие для вузов / А.П. Коликов, П.И. Полухин, А.В. Крупин и др. М.: Высш. школа, 1986.
27. Щерба В.Н., Райтбарт Л.Х. Технология прессования металлов: Учебник для вузов. М.: Metallurgia. 1995.
28. Алиев Ч.А., Тетерин Г.П. Система автоматизированного проектирования технологии горячей объемной штамповки. М.: Машиностроение, 1987.
29. Друянов Б.А. Прикладная теория пластичности пористых тел. М.: Машиностроение, 1989.
30. Чернышев В.Н., Линецкий Б.Л., Крупин А.В. Обработка металлов давлением в контролируемых средах. М.: Metallurgia, 1993.
31. Обработка металлов взрывом / А.В. Крупин, В.Я. Соловьев, Г.С. Попов и др. М.: Metallurgia, 1991.
32. Колпашников А.И., Арефьев Б.А., Мануйлов В.Ф. Деформирование композиционных материалов. М.: Metallurgia, 1982.
33. Кобелев А.Г., Потапов И.Н., Кузнецов Е.В. Технология слоистых металлов: Учебное пособие для вузов. М.: Metallurgia, 1991.