

Рабочая программа  
утверждена решением  
Учёного совета  
ВФ НИТУ «МИСИС»  
от «15» мая 2025 г.  
протокол № 8-25

## Рабочая программа дисциплины (модуля)

# Теория обработки металлов давлением

Закреплена за кафедрой Технологии и оборудования обработки металлов давлением

Направление подготовки 22.03.02 Металлургия

Профиль Обработка металлов давлением

Квалификация **бакалавр**

Форма обучения **очная**

Общая трудоемкость **5 ЗЕТ**

Часов по учебному плану 180

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

экзамен 4

зачет 5

курсовая работа 5

аудиторные занятия 60

самостоятельная работа 76

часов на контроль 36

Распределение часов дисциплины по семестрам

| Семестр<br>(<Курс>.<Семестр на курсе>) | 4 (2.2) |     | 5 (3.1) |    | Итого |     |
|----------------------------------------|---------|-----|---------|----|-------|-----|
| Неделя                                 | 19      |     | 19      |    |       |     |
| Вид занятий                            | УП      | РП  | УП      | РП | УП    | РП  |
| Лекции                                 | 24      | 24  |         |    | 24    | 24  |
| Практические                           | 24      | 24  | 12      | 12 | 36    | 36  |
| Контроль самостоятельной работы        | 4       | 4   | 4       | 4  | 8     | 8   |
| Итого ауд.                             | 48      | 48  | 12      | 12 | 60    | 60  |
| Контактная работа                      | 52      | 52  | 16      | 16 | 68    | 68  |
| Сам. работа                            | 20      | 20  | 56      | 56 | 76    | 76  |
| Часы на контроль                       | 36      | 36  |         |    | 36    | 36  |
| Итого                                  | 108     | 108 | 72      | 72 | 180   | 180 |

Программу составил(и):

*к.т.н, Профессор, Ионов Сергей Михайлович*

Рабочая программа

**Теория обработки металлов давлением**

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по направлению подготовки 22.03.02 Metallургия (приказ от 02.04.2021 г. № 119 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

22.03.02 Metallургия, ОМ-25.plx Обработка металлов давлением, утвержденного Ученым советом ВФ НИТУ «МИСиС» 26.12.2024, протокол № 4-24

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры

**Технологии и оборудования обработки металлов давлением**

Протокол от 27.04.2025 г., №8

Зав. кафедрой Горбатюк С.М.

| 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.1              | На основе общих представлений о механизмах пластической деформации, напряженном и деформированном состояниях металла в процессах ОМД с учетом строения, состава и свойств деформируемого металла, термомеханических режимов деформации, внешнего трения, научить теоретическому анализу процессов ОМД. Научить анализировать и рассчитывать деформационные, энергосиловые и кинематические параметры процессов ОМД. |
| 1.2              | Обучить общим методам анализа режимов деформации, влияния параметров пластической деформации на качество металлопродукции, способам воздействия на напряженно-деформированное состояние, пластичность и сопротивление металла деформации, структуру и свойства металлоизделий.                                                                                                                                      |

| 2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ |                                                                                                                       |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Цикл (раздел) ОП:                              | Б1.В.ДВ.03                                                                                                            |
| 2.1                                            | <b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>                                                          |
| 2.1.1                                          | Учебная практика по получению первичных профессиональных умений                                                       |
| 2.1.2                                          | Экология                                                                                                              |
| 2.1.3                                          | Безопасность жизнедеятельности                                                                                        |
| 2.1.4                                          | Кристаллофизика                                                                                                       |
| 2.1.5                                          | Физика                                                                                                                |
| 2.1.6                                          | Введение в специальность                                                                                              |
| 2.2                                            | <b>Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b> |
| 2.2.1                                          | Теория процессов пластической деформации                                                                              |
| 2.2.2                                          | Технология производства проката                                                                                       |
| 2.2.3                                          | Моделирование процессов и объектов в металлургии                                                                      |
| 2.2.4                                          | Организация и планирование проведения эксперимента                                                                    |
| 2.2.5                                          | Технологическая (проектно-технологическая) практика                                                                   |

| 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ                                   |                                           |                |       |             |                          |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------|-------|-------------|--------------------------|------------|
| <b>ПК-1: Способен осуществлять разработку типовых технологических процессов для обработки материалов</b>          |                                           |                |       |             |                          |            |
| <b>Знать:</b>                                                                                                     |                                           |                |       |             |                          |            |
| ПК-1-33 Основные технологии и оборудование обработки металлов давлением                                           |                                           |                |       |             |                          |            |
| ПК-1-32 Способы и методы выбора материалов для изделий различного назначения с учетом эксплуатационных требований |                                           |                |       |             |                          |            |
| ПК-1-31 Знать основные понятия в области ОМД                                                                      |                                           |                |       |             |                          |            |
| <b>Уметь:</b>                                                                                                     |                                           |                |       |             |                          |            |
| ПК-1-У3 Уметь выявлять достоинства и недостатки технологии                                                        |                                           |                |       |             |                          |            |
| ПК-1-У2 Уметь осуществлять корректировки технологических процессов                                                |                                           |                |       |             |                          |            |
| ПК-1-У1 Уметь выбирать материалы для изделий различного назначения                                                |                                           |                |       |             |                          |            |
| <b>Владеть:</b>                                                                                                   |                                           |                |       |             |                          |            |
| ПК-1-В3 Владеть навыками выбора материала с учётом эксплуатационных требований                                    |                                           |                |       |             |                          |            |
| ПК-1-В2 Владеть способностью анализировать продукцию, процессы и системы ОМД                                      |                                           |                |       |             |                          |            |
| ПК-1-В1 Владеть способностью обеспечивать технологичность изделий и оптимальность процессов их изготовления       |                                           |                |       |             |                          |            |
| 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ                                                                                         |                                           |                |       |             |                          |            |
| Код занятия                                                                                                       | Наименование разделов и тем /вид занятия/ | Семестр / Курс | Часов | Компетенции | Литература и эл. ресурсы | Примечание |

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |   |   |        |                        |  |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|--------|------------------------|--|
|     | <b>Раздел 1. Введение в теорию обработки металлов давлением. Общая характеристика, предмет и задачи курса, его связь с фундаментальными дисциплинами, место среди специальных курсов. Цели, задачи, разновидности, особенности, преимущества и недостатки процессов ОМД. Достижения в РФ и за рубежом.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |   |   |        |                        |  |
| 1.1 | Введение в теорию обработки металлов давлением. Общая характеристика, предмет и задачи курса, его связь с фундаментальными дисциплинами, место среди специальных курсов. Цели, задачи, разновидности, особенности, преимущества и недостатки процессов ОМД. Достижения в РФ и за рубежом. /Лек/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 4 | 2 | ПК-1.1 | Л1.1Л2.1 Л2.2          |  |
| 1.2 | Проработка лекционного материала, литературы по дисциплине /Ср/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 4 | 4 | ПК-1.1 | Л1.1Л2.2               |  |
|     | <b>Раздел 2. Общие вопросы теории ОМД. Силы, действующие в процессах ОМД. Внешние, внутренние, поверхностные и объемные силы, общее определение механических напряжений. Механические свойства металлических материалов, их характеристика, методы определения. Условие постоянства объема при ОМД, величины, характеризующие деформацию.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |   |        |                        |  |
| 2.1 | Общие вопросы теории ОМД. Силы, действующие в процессах ОМД. Внешние, внутренние, поверхностные и объемные силы, общее определение механических напряжений. Механические свойства металлических материалов, их характеристика, методы определения. Условие постоянства объема при ОМД, величины, характеризующие деформацию. /Лек/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 4 | 2 | ПК-1.1 | Л1.1 Л1.2Л2.2          |  |
| 2.2 | Количественная оценка деформации при ОМД. Анализ и определение величин, характеризующих пластическую деформацию в различных процессах ОМД /Пр/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 4 | 6 | ПК-1.1 | Л1.1 Л1.2Л2.2<br>Э2    |  |
| 2.3 | Физическое направление в теории ОМД. Кристаллическое строение металлов, моно - и поликристаллы. Основные механизмы пластической деформации монокристаллов, особенности пластической деформации поликристаллов. Холодная, горячая и теплая деформации, классификация процессов ОМД по температурным условиям. Особенности горячей обработки металлов давлением, ее преимущества и недостатки. Влияние холодной пластической деформации на структуру и свойства деформируемого металла, деформационное упрочнение. Формирование текстуры и анизотропии свойств металлических материалов в процессе пластической деформации. Изменение структуры и свойств холоднодеформированного металла при нагреве. Возврат, полигонизация, рекристаллизация. Формирование физических и механических свойств металлов и сплавов в процессах ОМД. /Лек/ | 4 | 2 | ПК-1.1 | Л1.1 Л1.2Л2.2          |  |
| 2.4 | Расчет единичных и результирующих показателей деформации, анализ их взаимосвязи в различных процессах ОМД /Пр/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 4 | 4 | ПК-1.1 | Л1.2Л2.2 Л2.3<br>Э1 Э2 |  |

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |   |   |        |                       |  |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|--------|-----------------------|--|
| 2.5 | Теория напряжений и деформаций в обработке металлов давлением. Силы, действующие на деформируемый металл, напряжения, напряженное состояние в окрестности точки, тензор напряжений. Главные нормальные и касательные напряжения, октаэдрические напряжения. Интенсивность напряжений. Схемы главных напряжений. Схема ГН процесса листовой прокатки. Условие пластичности. Условие постоянства максимального касательного напряжения, энергетическое условие пластичности. Понятия конечных и малых деформаций, деформированное состояние окрестности точки, тензор деформаций, интенсивность деформаций, главные деформации, схемы главных деформаций в процессах ОМД. Большие деформации при ОМД. Понятие о механических схемах деформации. Классификация процессов ОМД по механическим схемам деформации. Примеры качественного анализа процессов ОМД с использованием механических схем деформации. /Лек/ | 4 | 2 | ПК-1.1 | Л1.1 Л1.2Л2.2<br>Л2.3 |  |
| 2.6 | Анализ типовых диаграмм растяжения. Трение в процессах ОМД. Расчет коэффициента трения при горячей и холодной прокатке /Пр/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 4 | 6 | ПК-1.1 | Л1.2Л2.2<br>Э1        |  |
| 2.7 | Проработка лекционного материала, материалов практических занятий, выполнение контрольной работы /Ср/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 5 | 8 | ПК-1.1 | Л1.1 Л1.2Л2.2<br>Л2.3 |  |
|     | <b>Раздел 3. Неравномерность деформации в процессах ОМД. Скорость деформации и сопротивление металла деформации при ОМД. Основные законы теории обработки металлов давлением</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |   |   |        |                       |  |
| 3.1 | Неравномерность деформации в процессах ОМД. Причины возникновения неравномерности деформации: влияние внешнего трения, внешних зон деформируемого тела, несоответствие формы инструмента форме деформируемого тела, неоднородность физико - механических свойств деформируемого металла по объему. Способы уменьшения неравномерной деформации. Дополнительные напряжения, их связь с неравномерностью деформации. Влияние дополнительных напряжений на качество готовых изделий. Остаточные напряжения, их роль при ОМД, способы определения и методы устранения /Лек/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 4 | 2 | ПК-1.1 | Л1.1 Л1.2Л2.2<br>Л2.3 |  |
| 3.2 | Скорость деформации и сопротивление металла деформации при ОМД. Скоростные условия различных процессов ОМД. Понятие о скорости деформации и скорости деформирования, использование скорости деформации для анализа процессов ОМД. Скоростные условия листовой прокатки. Понятие сопротивления деформации. Факторы, влияющие на сопротивление деформации: химический состав, структура, температура, скорость и степень деформации, история нагружения. Методы определения сопротивления деформации. /Лек/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 4 | 2 | ПК-1.1 | Л1.2Л2.2 Л2.3         |  |

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |   |   |        |                        |  |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|--------|------------------------|--|
| 3.3 | Определение скорости деформации в различных процессах ОМД (продольная прокатка, осадка и др.) /Пр/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 4 | 2 | ПК-1.1 | Л1.2Л2.2 Л2.3<br>Э1 Э2 |  |
| 3.4 | Основные законы теории обработки металлов давлением. Закон постоянства объема, коэффициенты деформации, истинные деформации, свойства аддитивности, взаимосвязь коэффициентов деформации по трём осям, средний и результирующий (суммарный) коэффициент вытяжки. Положение о смещенном объеме. Закон наименьшего сопротивления и следствия из него: правило кратчайшей нормали, правило наименьшего периметра. Практическое применение правила кратчайшей нормали и правила наименьшего периметра при анализе процессов ОМД. Законы подобия и физического моделирования пластической деформации. /Лек/ | 4 | 2 | ПК-1.1 | Л1.1Л2.2 Л2.3          |  |
| 3.5 | Проработка лекционного материала, материалов практических занятий /Ср/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 4 | 8 | ПК-1.1 | Л1.1 Л1.2Л2.2<br>Л2.3  |  |
|     | <b>Раздел 4. Трение в процессах обработки металлов давлением. Пластичность и деформируемость. Экспериментальные методы определения усилий.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |   |   |        |                        |  |
| 4.1 | Трение в процессах обработки металлов давлением. Общие понятия. Основные механизмы контактного трения. Влияние трения при ОМД на показатели процессов и качество изделий. Особенности внешнего трения при ОМД, его отличие от механического. Зависимость трения от основных технологических параметров процессов ОМД. Способы определения коэффициента и напряжения трения. Технологические смазки при ОМД, их назначение и классификация. Влияние смазок на эффективность процессов ОМД и качество продукции /Лек/                                                                                    | 4 | 4 | ПК-1.1 | Л1.1 Л1.2Л2.2          |  |
| 4.2 | Расчет коэффициента трения по экспериментально измеренным усилиям при осадке свинцовых образцов /Пр/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 4 | 6 | ПК-1.1 | Л1.1Л2.2<br>Э1 Э2      |  |
| 4.3 | Пластичность и деформируемость. Понятие пластичности и деформируемости. Методы оценки пластичности, предельная пластичность. Модели разрушения металлов в процессах пластической деформации. Основные параметры, определяющие пластичность в процессах ОМД. Технологическая пластичность, методы ее оценки. Пути повышения пластичности в процессах ОМД. Понятие сверхпластичности. /Лек/                                                                                                                                                                                                              | 4 | 2 | ПК-1.1 | Л1.2Л2.2 Л2.3          |  |

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |   |    |        |                                |  |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|----|--------|--------------------------------|--|
| 4.4 | Усилие и работа деформации. Энергосиловые параметры пластической деформации, их роль в определении эффективности процессов ОМД. Решение приближённых дифференциальных уравнений равновесия сил совместно с уравнением пластичности при различных законах контактного трения. Метод работ, вывод уравнения для определения деформирующих сил при осадке с помощью метода работ. Анализ существующих аналитических методов определения деформирующих усилий. Вариационные методы. Метод линий скольжения, основные понятия полей линий скольжения, роль линий скольжения в расчётах напряжений. Экспериментальные методы определения усилий. Работа и мощность деформации. /Лек/ | 4 | 4  | ПК-1.1 | Л1.1 Л1.2Л2.2<br>Л2.3          |  |
| 4.5 | Проработка лекционного материала, материалов практических занятий /Ср/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 4 | 8  | ПК-1.1 | Л1.1 Л1.2Л2.2<br>Л2.3          |  |
| 4.6 | Расчет энергосиловых параметров при осадке /Пр/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 5 | 12 | ПК-1.1 | Л1.1 Л1.2Л2.2<br>Э1 Э2         |  |
| 4.7 | Подготовка к защите курсовой работы /Ср/                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 5 | 48 | ПК-1.1 | Л1.1 Л1.2Л2.2<br>Л2.3<br>Э1 Э2 |  |

## 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

### 5.1. Вопросы для самостоятельной подготовки к экзамену (зачёту с оценкой)

Вопросы для самоподготовки к экзамену:

Понятие о кристаллическом строении металлов, моно- и поликристаллы.

2. Типы кристаллических решеток металлов, их характеристики.

3. Основные механизмы пластической деформации монокристаллов.

4. Особенности пластической деформации поликристаллов.

5. Дислокационная модель пластической деформации.

6. Механические свойства металлов, способы их определения.

7. Изменение свойств металла в процессе холодной пластической деформации. Деформационное упрочнение.

8. Изменения, происходящие в металлах в процессе холодной пластической деформации.

9. Изменение структуры и свойств деформированного металла при нагреве. Возврат, полигонизация, рекристаллизация.

10. Классификация процессов ОМД по температурным условиям.

11. Силы, действующие на деформируемый металл, напряжения, напряженное состояние в точке, тензор напряжений.

12. Понятие о главных напряжениях. Схемы главных напряжений.

13. Напряженное состояние на наклонных (в т.ч. октаэдрических) площадках. Понятие интенсивности напряжений.

14. Условие пластичности.

15. Деформированное состояние, тензор деформаций.

16. Понятие о главных деформациях, схемы главных деформаций в процессах ОМД.

17. Условие постоянства объема при ОМД. Величины, характеризующие деформацию в различных процессах ОМД.

18. Смещенный объем.

19. Взаимосвязь частных и результирующих величин, характеризующих пластическую деформацию. Понятие истинных деформаций.

20. Понятие о механических схемах деформации. Классификация процессов ОМД по механическим схемам деформации.

21. Анализ процессов ОМД с использованием механических схем деформации.

22. Скоростные условия процессов ОМД. Понятие о скорости деформации.

23. Определение скорости деформации в процессах осадки и продольной прокатки.

24. Трение при ОМД. Основные определения. Особенности трения при ОМД.

25. Основные механизмы контактного трения, влияние трения при ОМД на качество изделий и показатели процессов.

26. Зависимость трения от основных параметров процессов ОМД.

27. Технологические смазки при ОМД, их назначение и классификация. Влияние смазок на эффективность процессов ОМД и качество продукции.

28. Экспериментальные методы оценки трения при ОМД.

29. Сопротивление деформации при ОМД. Факторы, влияющие на сопротивление деформации.
30. Методы определения сопротивления деформации. Метод термомеханических коэффициентов.
31. Влияние различных факторов ОМД на пластичность металлов в процессе деформации.
32. Пластичность и деформируемость металлов при ОМД. Методы оценки и основные факторы, определяющие пластичность при ОМД.
33. Причины возникновения неравномерности деформации в процессах ОМД.
34. Дополнительные напряжения, их связь с неравномерностью деформации. Влияние дополнительных напряжений на качество готовых изделий.
35. Остаточные напряжения, их роль при ОМД, методы их устранения.
36. Закон наименьшего сопротивления, правило кратчайшей нормали, правило наименьшего периметра, их практическое применение при анализе процессов ОМД.
37. Усилие деформации. Методы определения усилия деформации. Решение дифференциальных уравнений равновесия совместно с уравнением пластичности (общий подход, основные допущения и упрощения).
38. Работа деформации при ОМД.
39. Деформационный разогрев при ОМД.
40. Задачи на расчет величин, характеризующих пластическую деформацию, коэффициента трения, скорости деформации, сопротивления деформации и др. показателей процессов ОМД.

## **5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (модулю, практике, НИР) - эссе, рефераты, практические и расчетно-графические работы, курсовые работы, проекты и др.**

По каждому разделу дисциплины предусмотрена текущая аттестация. Текущая аттестация проводится в форме заданий для самостоятельного выполнения и контрольных мероприятий.

По дисциплине предусмотрены следующие мероприятия:

- Домашние задания:

Домашнее задание № 1

1. Дать общую характеристику процессу ОМД – свободнаяковка.
2. Сущность условия постоянства объема в процессах ОМД. Особенности деформации литого металла.
3. Как определить коэффициент высотной деформации?
4. Определить истинный коэффициент высотной деформации при осадке образца цилиндрической формы с  $h_0 = 60$  мм до  $h_1 = 40$  мм.
5. Исходная заготовка – прутки диаметром  $d_0 = 10$  мм подвергнута волочению в пять проходов с коэффициентами вытяжки в проходах:  $\mu_1 = 1,32$ ;  $\mu_2 = 1,3$ ;  $\mu_3 = 1,25$ ;  $\mu_4 = 1,22$ ;  $\mu_5 = 1,2$ . Определить диаметр готовой проволоки (дпр).
6. Цилиндрический образец размерами:  $h_0 = 60$  мм,  $d_0 = 50$  мм, осаживается до высоты  $h_1 = 40$  мм. Определить смещенный объем по высоте.
7. Силы, действующие на деформируемое тело. Реактивные силы.
8. Понятие о механических напряжениях. Соотношение между полными, нормальными и касательными напряжениями.
9. Октаэдрические напряжения. Интенсивность касательных и нормальных напряжений.
10. Понятие о схемах главных напряжений. Схема главных напряжений для процесса осадки.

Домашнее задание № 2

1. Условие пластичности. Условие постоянства максимального касательного напряжения.
2. Схемы главных деформаций для процессов прокатки и осадки.
3. Понятие о механических схемах деформации. Механическая схема деформации процесса осадки.
4. Качественный анализ процесса волочения с помощью механических схем деформации.
5. В каком процессе потребуются большее усилие деформации: а) прокатка на гладкой бочке; б) прокатка в калибрах.
6. Неравномерность деформации. Оценить влияние формы инструмента на неравномерность деформации.
7. Дополнительные напряжения. Определить причину появления, направление и знак дополнительных напряжений при прокатке трехслойного пакета (внутри алюминиевая пластина, сверху и снизу – свинцовые пластины).
8. Остаточные напряжения. Причины искажения формы изделий под действием остаточных напряжений.
9. Механический метод определения остаточных напряжений. Напряжения какого рода можно определить механическим методом?

- Курсовая работа:

Примеры тем для курсовой работы: Расчет энерго-силовых параметров (давление, усилие и работу деформации, деформационный разогрев) при осадке (распределение по вариантам).

Пример задания на курсовую работу:

Цель работы: Изучить деформационные, временные и скоростные характеристики процесса осадки. Научиться рассчитывать энерго-силовые параметры процесса (сопротивление металла деформации, коэффициент трения, работу деформации, давление и усилие деформации).

Вариант 1

Расчетная схема процесса осадки:





Последовательность расчета:

- 1) Определить объем деформируемого тела  $V_0 = h_0 \cdot b_0 \cdot L$  (м<sup>3</sup>);
  - 2) Определить абсолютное обжатие  $\Delta h = h_0 - h_1$  (мм);
  - 3) Определить относительную деформацию  $\varepsilon = \Delta h / h_0$ ;
  - 4) Определить коэффициент высотной деформации  $\eta = h_0 / h_1$ ;
  - 5) Определить ширину после процесса осадки  $b_1 = b_0 \cdot \beta$ , где  $\beta$  - коэффициент поперечной деформации (коэффициент уширения) определяется из условия постоянства объема (УПО). В коэффициентах деформации УПО:  $(\beta \cdot \lambda) / \eta = 1$ . При плоской деформации при осадке коэффициент продольной деформации (коэффициент вытяжки)  $\lambda = 1$ ;
  - 6) Определить истинный (логарифмический) коэффициент высотной деформации  $\delta h = \ln(h_0 / h_1)$ ;
  - 7) Определить истинный смещенный объем по высоте  $V_{см} = V_0 \cdot \ln(h_0 / h_1)$ ;
  - 8) Определить время процесса деформации  $\tau = \Delta h / v_B$  (сек);
  - 9) Определить среднюю скорость деформации  $иср = \varepsilon / \tau$ ;
  - 10) Определить среднее значение сопротивления деформации по методике, указанной в задании без учета деформационного разогрева;
  - 11) Определить работу деформации не учитывая работу сил трения:  $A_{деф} = V_0 \cdot \sigma_{ср} \cdot \ln(h_0 / h_1)$ ;
  - 12) Определить величину деформационного разогрева в результате работы деформации:  $\Delta t_{деф} = \eta_{вых} \cdot \sigma_{ср} \cdot \ln(h_0 / h_1) / (c \cdot \rho)$ , где  $\eta_{вых}$  – коэффициент выхода тепла от работы деформации (0,89 – 0,94);  $\sigma_{ср}$  – среднее значение сопротивления деформации (МПа);  $c$  – удельная теплоемкость деформируемого металла (Дж/(кг·град));  $\rho$  – плотность деформируемого металла (кг/м<sup>3</sup>);
  - 13) Определить среднее значение сопротивления деформации по методике, указанной в задании с учетом деформационного разогрева  $t_{деф} = t_{МЕ} + \Delta t_{деф}$ ;
  - 14) Определить значение коэффициента трения в соответствии с заданным законом трения (Амантона – расчет по формуле Бахтинова, коэффициент, учитывающий влияние скорости принять равным 1, Зибеля – принимаем, что площадь поверхности контакта деформируемого металла с бойком, на которой трение подчиняется закону Зибеля составляет 100%, коэффициент трения (по Зибелю)  $f_3 = \gamma \cdot 0,5$ , где  $\gamma$  – коэффициент Лодэ, схема деформации – плоская);
  - 15) Рассчитать погонное усилие процесса осадки (усилие на единицу длины деформируемой заготовки –  $R_{пог}$  (Н/м, кН/м)) в соответствии с заданным законом трения;
  - 16) Рассчитать среднее давление на поверхности контакта  $p_{ср} = R_{пог} / b_1$  (Н/м<sup>2</sup>, МПа)
- Рассчитать полное усилие процесса осадки  $P = R_{пог} \cdot L$  (Н, кН).

Исходные данные для расчета:

- 1) Форма деформируемого тела - пластина, прямоугольный параллелепипед;
- 2) Размеры до деформации:  $h_0 = 50$  мм,  $b_0 = 50$  мм,  $L = 300$  мм;
- 3) Размеры после деформации:  $h_1 = 25$  мм,  $L = 300$  мм – деформация плоская;
- 4) Скоростные условия деформации - скорость движения бойка (скорость деформирования) -  $v_B$ , ( $v_{деф}$ ) = 0,2 м/с;
- 5) Деформируемый материал - сталь 45;
- 6) Материал бойков - сталь;
- 7) - Температура  $t_{МЕ} = 1150$  оС;
- 8) Закон трения - Амантона (при определении коэффициента трения коэффициент, учитывающий влияние скорости принять равным 1;
- 9) Сопротивление деформации определять по методике В.И. Зюзина;
- 10) При определении деформационного разогрева трением пренебречь;
- 11) Коэффициент выхода тепла от работы деформации  $\eta_{вых} = 0.9$
- 12) Теплофизические характеристики:  $c = 705$  Дж/(кг·град),  $\rho = 7550$  кг/м<sup>3</sup>

### 5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.)

Экзаменационные билеты состоит из двух теоретических вопросов и одного практического. Билеты хранятся на кафедре

Пример:

Экзаменационный билет № 1 .

Дисциплина Теория обработки металлов давлением  
Направление подготовки 22.03.02 Металлургия  
Профиль подготовки Обработка металлов давлением

- 1 Анализ процессов ОМД с использованием механических схем деформации.
- 2 Зависимость трения от основных параметров процессов ОМД.
- 3 Исходная заготовка квадратного сечения (сторона квадрата  $a = 100$  мм) за семь проходов прокатана в круг диаметром  $d = 50$  мм. Определить среднее значение коэффициента вытяжки за проход.

### 5.4. Методика оценки освоения дисциплины (модуля, практики. НИР)

К защите курсовой работы допускается студент выполнивший текущий контроль успеваемости, а так же оформивший работу в соответствии с требованиями ЕСКД и ГОСТ.

Методика оценивания домашних работ:

Оценка "зачтено" - разделы индивидуального задания выполнены полностью, технически грамотно оформлены.

Оценка "не зачтено" - разделы индивидуального задания выполнены не в полном объеме, имеются недочеты в оформлении заданий.



Курсовая работа оценивается на открытом заседании комиссии.

При оценке курсовой работы комиссия принимает во внимание:

1. Правильность расчетов в пояснительной записке, техническую грамотность оформления документации и ясность описания.
2. Самостоятельность работы студента, грамотное использование специальной литературы.
3. Равномерность работы студента по выполнению отдельных этапов курсовой работы
4. Содержание и четкость доклада по проекту на заседании комиссии.
5. Ответы на вопросы членов комиссии.

Результаты защиты оглашаются в присутствии всех студентов на открытом заседании комиссии.

Оценка «отлично» - выполнены все требования к написанию и защите курсовой работы; правильно выполнены расчеты в пояснительной записке, соблюдены требования к внешнему оформлению, даны правильные ответы на дополнительные вопросы.

Оценка «хорошо» - основные требования к курсовой работе и ее защите выполнены, но при этом допущены недочёты. В частности, имеются упущения в оформлении; на дополнительные вопросы при защите даны неполные ответы.

Оценка «удовлетворительно» - имеются существенные отступления от требований к курсовой работе. В частности, допущены фактические ошибки в содержании курсовой работе, в расчетах работы или при ответе на дополнительные вопросы.

Оценка «неудовлетворительно» - тема курсовой работы не раскрыта, обнаруживается существенное непонимание курса.

На экзамене оценивается уровень теоретических знаний обучающегося и развития его творческого мышления, наличие навыков самостоятельной работы и умение применять полученные знания к решению практических задач (при ответах на вопросы(задания) экзаменационного билета, дополнительные вопросы (при необходимости), также учитываются результаты работы обучающегося в течение учебного семестра)

Для оценивания уровня освоения учебного материала по дисциплине "Теория обработки металлов давлением" используется следующая шкала оценок:

Оценка «отлично» ставится обучающемуся, ответ которого содержит:

- глубокое знание программного материала, а также основного содержания и новаций лекционного курса по сравнению с учебной литературой: основной и дополнительной;
- знание концептуально-понятийного аппарата всего курса (программы практики);
- свидетельствует о способности самостоятельно критически оценивать основные положения курса и увязывать теорию с практикой.

Оценка «хорошо» ставится обучающемуся, ответ которого свидетельствует:

- о полном знании материала по программе дисциплины;
- о знании рекомендованной литературы: основной и дополнительной;
- содержит в целом правильное, но не всегда точное и аргументированное изложение материала.

Оценка «удовлетворительно» ставится обучающемуся, ответ которого содержит:

- поверхностные знания важнейших разделов программы и содержания лекционного курса;
- затруднения с использованием научно-понятийного аппарата и терминологии курса;
- стремление логически четко построить ответ, а также свидетельствует о возможности последующего обучения.

Оценка «неудовлетворительно» ставится обучающемуся, имеющему существенные пробелы в знании основного материала по программе, а также допустившему принципиальные ошибки при изложении материала, а также не выполнившего требования по освоению курса.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

### 6.1. Рекомендуемая литература

#### 6.1.1. Основная литература

|      | Авторы, составители                           | Заглавие                                     | Библиотека          | Издательство, год           |
|------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------|-----------------------------|
| ЛП.1 | Тюрин В.А., Мохов А.И. Тюрин В.А., Мохов А.И. | Теория обработки металлов давлением: учебник | Электронный каталог | Москва Альянс, 2019         |
| ЛП.2 | Коликов А.П. Коликов А.П., Романцев Б.А.      | Теория обработки металлов давлением: учебник | Электронный каталог | Москва Изд. Дом МИСИС, 2015 |

#### 6.1.2. Дополнительная литература

|      | Авторы, составители     | Заглавие                                     | Библиотека          | Издательство, год        |
|------|-------------------------|----------------------------------------------|---------------------|--------------------------|
| ЛД.1 | Золоторевский В.С.      | Механические свойства металлов: учебник      | Электронный каталог | Москва Металлургия, 1983 |
| ЛД.2 | Громов Н.П. Громов Н.П. | Теория обработки металлов давлением: учебник | Электронный каталог | Москва Металлургия, 1978 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Авторы,                                                                                                                                                                                                                                                        | Заглавие                                                                                                                                         | Библиотека                                                                                               | Издательство, год  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Л2.3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Кучеряев Б.В.                                                                                                                                                                                                                                                  | Механика сплошных сред (теоретические основы обработки давлением композитных металлов с задачами и решениями, примерами и упражнениями): учебник | Электронный каталог                                                                                      | Москва МИСИС, 2006 |
| 6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                  |                                                                                                          |                    |
| Э1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | ООО НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕКА                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                  | http://elibrary.misis.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=12459 |                    |
| Э2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | №105 Правила оформления письменных работ мероприятий текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации (заданий контроля самостоятельной работы студентов, отчетов по практикам, курсовых работ/проектов, научно-исследовательских работ) - Выкса 2020г |                                                                                                                                                  | http://elibrary.misis.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=1245  |                    |
| 6.3 Перечень программного обеспечения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                  |                                                                                                          |                    |
| П.1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | MS Teams                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                  |                                                                                                          |                    |
| П.2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | MS Office                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                  |                                                                                                          |                    |
| П.3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                  |                                                                                                          |                    |
| 6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                  |                                                                                                          |                    |
| И.1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Научная электронная библиотека eLIBRARY.ru – URL: https://elibrary.ru                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                  |                                                                                                          |                    |
| И.2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Научная электронная библиотека МИСИС - URL: http://elibrary.misis.ru/login.php                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                  |                                                                                                          |                    |
| И.3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Электронная библиотечная система (ЭБС) – «Университетская библиотека онлайн»- URL: http://biblioclub.ru                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                  |                                                                                                          |                    |
| 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                  |                                                                                                          |                    |
| Ауд.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Назначение                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                  | Оснащение                                                                                                |                    |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Теория обработки металлов давлением                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                  | компьютер, проектор, экран, интерактивная доска<br>комплект тематических презентаций, доступ к интернету |                    |
| 6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Теория обработки металлов давлением                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                  | Компьютеры, доступ к интернету                                                                           |                    |
| 8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                  |                                                                                                          |                    |
| <p>Весь курс разделен на самостоятельные взаимосвязанные части, т.е. имеет модульное построение. Развитие самостоятельности обучающихся достигается индивидуализацией домашних заданий.</p> <p>Лекции проводятся с использованием мультимедийных технологий в специально оборудованных аудиториях, при этом лекционный материал демонстрируется с использованием графического редактора Power Point.</p> <p>На практических занятиях и при выполнении домашних работ осваиваются как классические методы решения задач, так и с использованием пакетов прикладных программ. Такая возможность обеспечивается рациональным использованием времени при проведении лекций и практических занятий с широким привлечением мультимедийной техники, и современных пакетов прикладных программ, а также формированием требований к подготовке студентов по предшествующим дисциплинам.</p> <p>Отдельные учебные вопросы выносятся на самостоятельную проработку и контролируются посредством текущей аттестации. При этом организуются групповые и индивидуальные консультации.</p> <p>Методические указания к оформлению домашних работ и курсовой работы приведены в методическом пособии - №105 Правила оформления письменных работ мероприятий текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации (заданий контроля самостоятельной работы студентов, отчетов по практикам, курсовых работ/проектов, научно-исследовательских работ) - Выкса 2020г <a href="http://elibrary.misis.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&amp;fDocumentId=12459">http://elibrary.misis.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&amp;fDocumentId=12459</a> (НТБ МИСИС)</p> |                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                  |                                                                                                          |                    |