

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королева»

**УТВЕРЖДЕНА**

Решением научно-технического совета  
протокол № 1 от «24» января 2022 г.

Председатель НТС, первый проректор -  
проректор по научно-исследовательской  
работе \_\_\_\_\_ А.Б. Прокофьев

Ученый секретарь НТС

\_\_\_\_\_ Л.В. Родионов

**ПРОГРАММА  
КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА**

по научной специальности

**2.5.7. Технологии и машины обработки давлением**

## **Введение**

Настоящая программа основана на следующих дисциплинах: теория обработки металлов давлением; нагрев и нагревательные устройства; технологияковки и объемной штамповки; технология листовой штамповки; кузнечно-штамповочное оборудование; автоматизация, робототехника и ГПС кузнечно-штамповочного производства и охватывает комплекс основных вопросов дисциплин специальности: “Физико-математическая теорияковки и штамповки”, “Конструирование кузнечно-штамповочного оборудования и систем управления”, “Технологияковки и штамповки”, “Технология листовой штамповки”, “Холодная объемная штамповка”, “Проектирование автоматизированных комплексов, участков, цехов кузнечно-штамповочных производств”, “Теория теплопередачи и нагрев металла”, “Расчет и конструирование прокатных, трубопрокатных и волочильных станов”.

Программа разработана экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Министерства образования России по машиностроению при участии Тульского государственного университета, МГТУ им. Н.Э. Баумана и Самарского университета.

### **Теория и технологические основы процессов обработки металлов давлением**

#### *Физические основы*

Строение металлов. Типы кристаллических решеток. Дефекты кристаллических решеток. Математическая модель взаимодействия двух атомов в кристаллической структуре: изменение потенциальной энергии и сил взаимодействия в зависимости от расстояния между атомами. Вычисление на основе математической модели взаимодействия двух атомов модуля упругости, частоты собственных колебаний атомов, коэффициента линейного расширения, критического касательного напряжения, необходимого для пластической деформации скольжения.

Дислокации, их виды. Возникновение дислокаций. Силы взаимодействия двух дислокаций, расположенных в параллельных плоскостях, источники появления дислокаций в результате пластической деформации. Плотность дислокаций. Взаимодействие пересекающихся дислокаций.

Холодная пластическая деформация моно- и поликристаллов. Влияние границ зерен. Упрочнение металлов, кривые упрочнения. Эффект Баушингера, остаточные напряжения и накопление потенциальной энергии, текстуры пластической деформации, анизотропия свойств.

Влияние температуры на процессы, протекающие в кристаллических структурах. Второй закон термодинамики и направленная диффузия атомов. Рост зерен. Факторы, влияющие на размер зерен: температура, степень пластической деформации. Диаграммы рекристаллизации.

Понятия холодной, неполной холодной, горячей и неполной горячей пластической деформации, преимущества и недостатки указанных видов деформаций.

Пластичность и деформируемость металлов и сплавов. Влияние химического и фазового состава на пластичность металлов и сплавов. Влияние структуры и ее неоднородности на пластичность металлов и сплавов. Влияние на пластичность температурно-скоростных режимов пластического деформирования; схемы напряженного состояния. Пластичность металлов в поле сверхвысокого гидростатического давления. Особенности поведения тел с нанокристаллической структурой при обработке давлением.

Сверхпластичность сплавов и возможности ее использования при обработке давлением.

Механизм контактного трения. Влияние физико-химического состояния поверхностей заготовки и инструмента, температуры, скорости деформирования и нагрузок на величину сил, вызываемых трением. Технологические смазывающие материалы. Жидкостное трение и гидродинамический эффект.

### *Основы механики и теплофизики*

Компоненты тензоров напряжений, деформаций, скоростей деформаций, инвариантные характеристики. Круги Мора для напряжений и деформаций. Условие сплошности материала. Дифференциальные уравнения равновесия. Соотношения между напряжениями, относительными деформациями и скоростями относительных деформаций при упругой и пластической деформации. Обобщенный закон Гука. Условия пластичности: энергетическое, постоянства максимальных касательных напряжений. Учет упрочнения в условиях пластичности. Частные случаи напряженно-деформированного состояния: плоская деформация, плоское напряженное состояние.

Метод приближенных (одномерных) уравнений пластического равновесия. Основные допущения при построении приближенных уравнений равновесия и состояния пластичности. Определение деформирующей силы на примере операции осадки цилиндрической заготовки.

Метод линий скольжения (характеристик). Способы построения сеток линий скольжения на основе теорем Генки, Прандтля и матрично-операторный. Свойства линий скольжения, годограф скоростей. Определение напряжения и удельной деформирующей силы для осадки бесконечно длинной заготовки между двумя шероховатыми плитами.

Вариационный энергетический метод. Понятие функционала, постановка задачи, основное вариационное уравнение. Примеры выбора кинематически возможных полей скоростей. Граничные условия, разрывы скоростей.

Верхняя и нижняя оценки деформирующих сил.

Конечно-разностный метод. Метод конечного элемента. Метод граничного элемента. Экспериментальные методы. Экспериментально-аналитические методы, визиопластичность.

Разрушение при пластическом деформировании. Накопление повреждений. Предельные диаграммы пластичности и их использование при расчетах технологических процессов обработки давлением.

Восстановление запаса пластичности. Пластичность металла в условиях горячей деформации.

Уравнения теплопроводности и их использование при решении технологических задач. Применение метода конечных элементов в поле переменных температур.

Динамические задачи обработки давлением.

Математическое и физическое моделирование технологических процессов обработки давлением, их оптимизация. Управление процессами.

Характерные особенности термомеханических режимов пластического деформирования специальных сплавов: быстрорежущих, коррозионно-стойких, жаропрочных сталей, алюминиевых, медных, титановых сплавов.

Основные положения для выбора материала инструмента. Учет температурных и силовых условий его эксплуатации.

*Экспериментальные методы исследования пластической деформации*

Метод координатных сеток. Методика обработки измерения деформаций, поляриционно-оптический и метод муара, их использование при расчете напряжений методом визиопластичности. Методы и аппаратура для измерения сил деформирования, моментов, контактных напряжений. Методы и средства измерения температуры деформируемого металла.

Влияние силового, теплового, скоростного (импульсного или динамического), электроэнергетического и магнитосилового и других возможных воздействий на механические характеристики материалов и их технологические свойства.

## **Теория и основы проектирования машин для обработки металлов давлением**

### *Основы механики машин*

Классификация типовых исполнительных механизмов машин дискретного и непрерывного действия для обработки металлов давлением.

Кинематика кривошипно-шатунного механизма кривошипного пресса, влияние конструктивных параметров. Кинематика универсальных шарниров в

шпинделях прокатных станов. Учет сил трения в кинематических парах, учет сил инерции. Статика кривошипно-шатунного механизма прессы. Расчет передаваемого крутящего момента. Анализ условий заклинивания. Этапы энергетических расчетов механизмов, приведение сил и масс к начальному звену, составление уравнений движения механизма. Энергетический расчет кривошипно-шатунного механизма прессы. Влияние конструктивных параметров на коэффициент полезного действия кривошипного прессы. Расчет маховика.

Виды фрикционных связей и законы трения. Влияние скоростей скольжения и нагрузок на условия трения. Механизм действия смазок, эффект Ребиндера. Износ при трении. Требования к фрикционным материалам в связи с их использованием во фрикционных муфтах включения и тормозах прессов. Основные положения расчета фрикционных муфт включения и тормозов прессов.

Удар и колебания. Теоремы о сохранении количества движения и главного момента количества движения в замкнутой системе при ударе. Прямой центральный удар. Коэффициент восстановления. Потеря кинетической энергии при неупругом ударе. Расчеты энергии, силы и КПД удара молотов. Расчет рабочей клетки стана на опрокидывание в момент захвата заготовки.

Основные характеристики механических колебаний. Дифференциальные уравнения свободных и вынужденных колебаний одно- и многомассовых систем. Условия резонанса.

Теории прочности, учет различного сопротивления материалов сжатию и растяжению. Усталостная прочность. Факторы, влияющие на предел выносливости. Концентрация напряжений. Основные положения для выбора допускаемых напряжений и коэффициентов запаса прочности при статическом и переменном нагружении.

Расчеты напряжений и деформаций в деталях и узлах. Основные положения расчета на прочность и жесткость плоских и пространственных рам. Их применение к расчетам станин прессов, станин рабочих клеток прокатных станов.

Расчеты балок, изгибаемых на упругом основании. Расчеты круглых валов, подвергаемых изгибу с кручением. Их применение к расчетам на прочность и жесткость коленчатых валов кривошипных прессов и валков станов дуо и кварто.

Расчеты сжатых стержней на устойчивость и определение критической силы. Их применение к расчетам шатунов, предварительно напряженных станин прессов и рабочих клеток прокатных станов.

Расчеты напряжений и деформаций в толстостенных цилиндрах под действием радиального давления. Их применение к расчетам рабочих цилиндров гидравлических прессов. Метод расчета динамических напряжений при ударе и его применение к расчету напряжений в штоках молотов.

Уравнение состояния идеального газа. Первый закон термодинамики. Теплоемкость газов. Термодинамические процессы в идеальных газах: адиабатический, изохорический, политропический, изобатический. Второй закон термодинамики. Цикл Карно. Понятие об энтропии системы. Расчеты индикаторных диаграмм паровоздушных молотов. Расчеты систем воздушных баллонов насосно-аккумуляторных станций гидравлических прессов. Расчет пневматической системы пневматических молотов. Термодинамический расчет паровоздушных молотов (ковочных и штамповочных).

Движение идеальной вязкой жидкости, уравнение Эйлера и Навье—Стокса. Уравнение Бернулли для стационарного и нестационарного движений идеальной жидкости. Потери энергии при внезапном расширении и сжатии идеальной жидкости в потоке и гидравлические сопротивления. Гидравлический удар, теория Жуковского. Структура потока в трубах, переход от ламинарного потока к турбулентному. Основные этапы динамического расчета гидравлических прессов с насосно-аккумуляторным приводом.

### **Основная литература**

1. Димитриенко, Юрий Иванович. Нелинейная механика сплошной среды [Текст] : [учеб. пособие для вузов по физ.-мат. и машиностроит. специальностям] / Ю. И. Димитриенко. - М. : Физматлит, 2009. - 623 с. Экземпляров всего: 10.
2. Шевченко, В.Я. Материаловедение и метрология наноструктур (свойства, особенности и исследование материалов) [Текст]: [учебн. пособ. / В. Я. Шевченко [и др.] ; М-во образования и науки РФ, Самарского гос. аэрокосм. ун-т им. С.П. Королева (Нац. исслед. ун-т). – Самара: Изд-во СГАУ, 2010. – 218с. (20 экз)
3. Литвинов, Сергей Дмитриевич. Строение твердого вещества. Кристаллы [Текст] : [учебн. пособ.] С. Д. Литвинов, Т. В. Судакова; Федер. агентство по образованию, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С.П. Королева. – Самара : Изд-во СГАУ, 2009. – 43с. (20 экз)
4. Заббаров, Рахим. Технология металлов [Текст] : [учебн. пособ.] / Р. Заббаров ; под общ. ред. Ф. В. Гречникова ; Федер. агентство по образованию, Самарский гос. аэрокосм. ун-т им. С.П. Королева (Нац. исслед. ун-т). – Самара : Изд-во СГАУ, 2010. - 75 с. (20 экз)
5. Расчет и проектирование процессов объемной и листовой штамповки [Текст] : [учеб. пособие] / В. Н. Субич, Н. А. Шестаков, В. А. Демин, А. В. Власов ; Федер. агентство по образованию, Моск. гос. индустр. ун-т. - М. : МГИУ, 2007. - 411 с. ( 8 экз.).
6. Методы формоизменения профильных кольцевых заготовок раскаткой [Текст] : [учеб. пособие] / В. А. Костышев, Ф. В. Гречников ; Федер. агентство по образованию, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева. - Самара : Изд-во СГАУ, 2007. - 82 с. (40 экз.).
7. Костышев, Вячеслав Александрович. Теория и технология горячей штамповки [Электронный ресурс] : [методические указания к лабораторным работам]/В.А. Костышев, В.Ю. Ненашев. - Самара: СГАУ, 2012. - 94с.

8. Жабрев, Валентин Александрович. Введение в нанотехнологию (общие сведения, понятия и определения [Текст] : [учеб. пособие] / В. А. Жабрев, В. И. Марголин, В. С. Павельев ; Федер. агентство по образованию, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева, Ин-т химии силикатов им. И. В. Гребенщикова РАН. - Самара : Изд-во СГАУ, 2007. - 171 с. Экземпляров всего: 10.
9. Шкляр, Михаил Филиппович. Основы научных исследований [Текст] : учеб. пособие / М. Ф. Шкляр. - 3-е изд. - М. : Дашков и К, 2009. - 243 с. Экземпляров всего: 5.
10. Арышенский, В.Ю. Механика сплошных сред в примерах и задачах [Текст] : [учеб. пособие] / В. Ю. Арышенский, В. Р. Каргин, Б. В. Каргин ; Федер. агентство по образованию, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева. - Самара : Изд-во СГАУ, 2007. - 63 с. Экземпляров всего: 40.
11. Димитриенко, Ю.И. Нелинейная механика сплошной среды [Текст]: [учеб. пособие для вузов по физ.-мат. и машиностроит. специальностям]/ Ю. И. Димитриенко. - М.: Физматлит, 2009. - 623 с. Экземпляров всего: 10.
12. Арышенский, Владимир Юрьевич. Механика сплошных сред в примерах и задачах [Электронный ресурс] : [учеб. пособие] / В. Ю. Арышенский, В. Р. Каргин, Б. В. Каргин ; Федер. агентство по образованию, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева. - Электрон. дан. (1 файл: 1,11 Мбайт).- Самара: Изд-во СГАУ, 2007. - on-line.

#### Дополнительная литература

1. Теория и технология горячей штамповки [Текст] : метод. указания для курс. проектирования / М-во образования и науки Рос. Федерации, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева; [сост. В. Ю. Ненашев, И. Н. Ковалькова]. - Самара : [б. и.], 2004. -35 с.
2. Теория и технология горячей штамповки [Текст] : метод. указания к лаб. работам / М-во образования и науки Рос. Федерации, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева; [сост. В. Ю. Ненашев, А. Ю. Иголкин]. - Самара : [б. и.], 2004. - 62 с, ( 46 экз.).
3. Сборник заданий по ковке и штамповке/ В.Ю. Ненашев, А.Г. Шляпугин. - Самара, СГАУ, 2006, 122 с. (3 экз.).
4. Костышев, Вячеслав Александрович. Методы формоизменения профильных кольцевых заготовок раскаткой [Электронный ресурс] : [учеб. пособие] / В. А. Костышев, Ф. В. Гречников ; Федер. агентство по образованию, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева. - Электрон. дан. (1 файл : 1,69 Мбайт). - Самара: Изд-во СГАУ, 2007. - on-line. - (Приоритетные национальные проекты "Образование").
5. Управление инновациями [Текст] : [учеб. пособие для вузов по направлению подгот. дипломир. специалистов "Инноватика" : в 3 кн.] / под ред. Ю. В. Шленова. - М.: Высш. шк., 2003 -.- ISBN 5-06-004708-3.
6. Основы организации инновационных процессов : рекомендовано Мин.образования / [А. А. Харин, И. Л. Коленский]. - 2003. - 253 с. Экземпляров всего: 30.
7. Бабурин, Вячеслав Леонидович. Инновационные циклы в российской экономике [Текст] / В. Л. Бабурин; Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова. - М.: Едиториал УРСС, 2002. - 119 с. Экземпляров всего: 60.

8. Букович, Уэнди. Управление знаниями: руководство к действию [Текст] : пер. с англ. / Уэнди Букович, Руфь Уилльямс. - М.: ИНФРА-М, 2002. - 503 с. Экземпляров всего: 30.
9. Зинов, Владимир Глебович. Управление интеллектуальной собственностью [Текст] / В. Г. Зинов. - М.: Дело, 2003. - 511 с. Экземпляров всего: 15.
10. Инновационный менеджмент [Текст] : метод. указания к лаб. работам / Федер. агентство по образованию, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева; [сост. М. И. Гераськин и др.]. - Самара : Изд-во СГАУ, 2006. - 35 с. Экземпляров всего: 79.
11. Гераськин, Михаил Иванович. Инновационный менеджмент наукоемких технологий [Текст] : [учеб. пособие] / М. И. Гераськин, О. А. Кузнецова, Ж. В. Маклюкова ; Федер. агентство по образованию, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева. - Самара : Изд-во СГАУ, 2006. - 159 с. Экземпляров всего: 10.
12. Инновационный менеджмент [Электронный ресурс] : метод. указания к лаб. работам / Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева ; сост. М. И. Гераськин, О. А. Кузнецова, Ж. В. Маклюкова. - Электрон. дан. (1 файл : 485 Кбайт). - Самара: СГАУ, 2006. - on
13. Гречников, Ф.В. Физико-механические основы интенсификации деформирования высокотекстурированных материалов /Учебн. пособ. [Текст]/ Ф.В. Гречников, В.М. Зайцев.- Самара, изд-во Самарского гос. аэрокосм. ун-та, 2006.- 130с.
14. Гречников, Ф.В.. Закономерности формирования текстурной морфологии листовых материалов при прокатке /Учебн. пособ. [Текст]/ Ф.В. Гречников, В.М. Зайцев, В.А. Михеев.- Самара, изд-во Самарского гос. аэрокосм. ун-та, 2006.- 112с.
15. Заббаров, Р. Материалы и технологические процессы изготовления заготовок и отливок аэрокосмического назначения /Учебн. пособ. [Текст]/ Р. Заббаров.- Самара, изд-во Самарского гос. аэрокосм. ун-та, 2008. - 91 с.
16. Бабкин А.В. Основы механики сплошных сред. [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / А.В. Бабкин, В.В. Семенов. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. - 376.
17. Каргин, Владимир Родионович. Прикладная механика сплошных сред [Текст] : учеб. пособие / В. Р. Каргин ; [под общ. ред. Ф. В. Гречникова] ; Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева. - Самара: СГАУ, 2002. - 222 с. (225 экземпляров).
18. Черняк, Владимир Григорьевич. Механика сплошных сред [Текст] : [учеб. пособие для вузов по направлению подгот. бакалавров "Физика"] / В. Г. Черняк, П. Е. Суетин. - М.: Физматлит, 2006. - 352 с. Экземпляров всего: 5.
19. Прикладная механика сплошных сред [Текст] : [учеб. для вузов] : в 3 т. / науч. ред. В. В. Селиванов. - Изд. 3-е, стер. - М.: Изд-во МГТУ, 2006 . Т. 1: Основы механики сплошных сред / А. В. Бабкин, В. В. Селиванов. - 2006. - 375 с. Экземпляров всего: 17.
20. Прикладная механика сплошных сред [Текст] : [учеб. для вузов] : в 3 т. / науч. ред. В. В. Селиванов. - Изд. 2-е, испр. - М.: Изд-во МГТУ, 2004. Т. 2: Механика разрушения деформируемого тела : рекомендовано Мин.образования / В. В. Селиванов. - 2006. - 419 с. Экземпляров всего: 11.