

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Луганский государственный университет имени Владимира Даля»

Институт технологий и инженерной механики  
Кафедра обработки металлов давлением и сварки



УТВЕРЖДАЮ:

Директор института

*Могильная Е.П.*

Могильная Е.П.

« 18 »

04

20 23 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**«МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ  
ГОРЯЧЕЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ»**

По направлению подготовки 15.04.01 Машиностроение

Магистерская программа «Технологии и машины обработки давлением»

Луганск 2023

Лист согласования РПУД

Рабочая программа учебной дисциплины «Математическое моделирование процессов горячей объемной штамповки» по направлению подготовки 15.04.01 Машиностроение. – \_\_ с.

Рабочая программа учебной дисциплины «Математическое моделирование процессов горячей объемной штамповки» составлена с учетом Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 15.04.01 Машиностроение утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от «14» августа 2020 года № 1025.

СОСТАВИТЕЛЬ:

канд. техн. наук, доцент Стоянов А.А.

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры обработки металлов давлением и сварки  
«11» 04 2023 г., протокол № 9

Заведующий кафедрой  А.А. Стоянов

Переутверждена: «  »    20   г., протокол №   

Рекомендована на заседании учебно-методической комиссии института технологий и инженерной механики  
«18» 04 2023 г., протокол № 3

Председатель учебно-методической комиссии института технологий и инженерной механики

 С.Н. Ясуник

## Структура и содержание дисциплины

### 1. Цели и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе

Целью изучения дисциплины является формирование у обучающихся способности применения математических методов моделирования процессов горячей объемной штамповки при разработке технологии и в действующем производстве.

Задачей изучения дисциплины является формирование у обучающихся компетенций в области моделирования процессов горячей объемной штамповки для их использования в производственно-технологической и научно-исследовательской областях деятельности.

### 2. Место дисциплины в структуре ООП ВО

Дисциплина «Математическое моделирование процессов горячей объемной штамповки» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений блока «дисциплины» учебного плана по направлению подготовки 15.04.01 Машиностроение.

Содержание дисциплины «Математическое моделирование процессов горячей объемной штамповки» является логическим продолжением содержания дисциплин, изученных при освоении предыдущего образовательно-квалификационного уровня: «Математика», «Физика», «Информатика и информационные технологии», «Теория обработки металлов давлением», «Основы научных исследований».

Является основой для формирования профессиональных компетенций в производственно-технологической и научно-исследовательской областях деятельности, выполнения научно-исследовательской работы и подготовки к написанию выпускной квалификационной работы.

### 3. Требования к результатам освоения содержания дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижений компетенции (по реализуемой дисциплине)	Перечень планируемых результатов
ПК-6. Способен выполнять моделирование штамповой оснастки и кузнечных инструментов	ПК-6.1. Знает специальные компьютерные программы для моделирования, оптимизации и расчета процессов ковки и штамповки: наименования, возможности и порядок работы в них	знать: методы определения показателей технического уровня процессов горячей объемной штамповки; исходные параметры и методы моделирования процессов горячей объемной штамповки; специальные компьютерные программы для моделирования, оптимизации и расчета процессов горячей объемной штамповки
	ПК-6.2. Умеет моделировать технологические процессы ковки и штамповки в специализированных программах	
	ПК-6.3. Владеет навыками	

	моделирования технологических процессовковки и штамповки в компьютерных программах	объемной штамповки при решении прикладных задач; использовать результаты математического моделирования для оптимизации и модернизации реальных технологических процессов горячей объемной штамповки
		владеть: навыками моделирования технологических процессов горячей объемной штамповки; способностью определять показатели технического уровня проектируемых процессов горячей объемной штамповки; способностью анализировать и выбирать оптимальные технологические решения, прогнозировать их последствия

#### 4. Структура и содержание дисциплины

##### 4.1. Объем учебной дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Объем часов (зач. ед.)	
	Очная форма	Заочная форма
<b>Общая учебная нагрузка (всего)</b>	<b>216</b> (6,0 зач. ед)	<b>216</b> (6,0 зач. ед)
<b>Обязательная аудиторная учебная нагрузка (всего)</b>	<b>84</b>	<b>12</b>
<b>в том числе:</b>		
Лекции	28	4
Семинарские занятия	-	-
Практические занятия	56	8
Лабораторные работы	-	-
Курсовая работа (курсовой проект)	курсовая работа	курсовая работа
Другие формы и методы организации образовательного процесса	-	-
<b>Самостоятельная работа студента (всего)</b>	<b>132</b>	<b>204</b>
Итоговая аттестация	экзамен	экзамен

##### 4.2. Содержание разделов дисциплины

Тема 1. Общие положения математического моделирования.

Методология математического моделирования. Системный анализ. Физическое и математическое моделирование. Алгоритмические и неалгоритмические формы математических моделей. Машинная форма математических моделей. Основные технологические схемы моделирования: имитационная и системная.

Тема 2. Математическая модель процессов горячей обработки давлением.

Обобщенная модель процессов горячей обработки давлением. Входные и выходные параметры. Структура математической модели процессов обработки металлов давлением. Требования, предъявляемые к математическим моделям, и их оценка. Погрешности модели.

Тема 3. Математический аппарат моделирования.

Матрицы, операции с ними. Линейные алгебраические уравнения, методы решения. Тензоры: скаляры, векторы и операции с ними.

Тема 4. Зависимости механики сплошной среды в матричном представлении.

Основные положения механики сплошных сред в аспекте матричного и тензорного их представления. Материальная частица. Способы описания движения сплошной среды. Компоненты тензоров. Материальной и пространственный градиенты деформации.

Тема 5. Тензоры конечных деформаций. Тензор малых деформаций.

Мера линейной деформации. Тензор конечных деформаций Коши - Грина. Тензор Альманси. Тензор деформации Генки. Эллипсоид деформаций. Тензор малых деформаций, его инварианты.

Тема 6. Тензор скорости деформации. Тензор напряжений.

Мгновенное состояние материальной частицы. Скорость движения материальной частицы. Тензор скорости деформации, его компоненты и инварианты. Напряженное состояние сплошной среды. Тензор напряжений, его компоненты и инварианты. Интенсивность напряжений.

Тема 7. Краевая задача в процессах горячей обработки давлением.

Краевые условия. Постановки краевой задачи в перемещениях и скоростях. Краевые условия начальные и граничные. Виды механических и температурных граничных условий.

Тема 8. Реологические модели деформируемой среды. Линейное напряженное состояние.

Определение реологии. Реологические модели для линейного напряженного состояния. Линейноупругая среда Гука. Жесткопластическая среда Мизеса. Линейновязкая среда Ньютона. Жесткопластическая упрочняющаяся, упруго-пластическая и вязкопластическая среды.

Тема 9. Упруго-вязкие среды (общий случай). Пластические среды (общий случай).

Обобщенный закон Гука. Постоянные Лямэ. Переход материала в пластическое состояние. Условия пластичности Треска-Сен-Венана и Губера-Мизеса. Теория малых упругопластических деформаций. Теория вязкопластического течения. Теория конечной монотонной деформации.

Тема 10. Методы решения системы уравнений термоупругопластичности.

Связность механической и тепловой частей решения краевой задачи. Два подхода к решению задачи теплопроводности. Прямые и приближенные методы решения задачи теплопроводности. Классификация численных методов решения задач упругопластичности и теплопроводности.

Тема 11. Построение сетки в численных методах решения задач упругопластичности и теплопроводности. Разностная схема краевой задачи.

Примеры построения сеток метода конечных разностей. Регулярные и нерегулярные сетки. Система разностных уравнений. Аппроксимация разностных функций. Интерполяция граничных условий.

Тема 12. Построение системы разностных уравнений в задачах термоупругопластичности.

Сведение дифференциального уравнения к системе линейных алгебраических уравнений. Построение ленточных матриц. Задача Неймана. Решение многомерных задач. Особенности решения нелинейных задач. Нестационарные задачи.

### 4.3. Лекции

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1.	Общие положения математического моделирования	2	2
2.	Математическая модель процессов горячей обработки давлением	2	2
3.	Математический аппарат моделирования	4	-
4.	Зависимости механики сплошной среды в матричном представлении	2	-
5.	Тензоры конечных деформаций. Тензор малых деформаций	4	-
6.	Тензор скорости деформации. Тензор напряжений	2	-
7.	Краевая задача в процессах горячей обработки давлением	2	-
8.	Реологические модели деформируемой среды. Линейное напряженное состояние	2	-
9.	Упруго-вязкие среды (общий случай). Пластические среды (общий случай)	2	-
10.	Методы решения системы уравнений термоупругопластичности	2	-
11.	Построение сетки в численных методах решения задач упругопластичности и теплопроводности	2	-
12.	Построение системы разностных уравнений в задачах термоупругопластичности	2	-
<b>Итого:</b>		<b>28</b>	<b>4</b>

### 4.4. Практические занятия

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1.	Методология математического моделирования	4	2
2.	Обобщенная модель процессов горячей обработки давлением. Входные и выходные параметры	4	2
3.	Линейные алгебраические уравнения, методы решения. Тензоры: скаляры, векторы и операции с ними	4	-
4.	Основные положения механики сплошных сред в. Материальная частица. Способы описания движения	4	2

	сплошной среды. Компоненты тензоров		
5.	Тензоры конечных деформаций. Тензор малых деформаций	4	2
6.	Тензор скорости деформации. Тензор напряжений	4	-
7.	Краевая задача в процессах горячей обработки давлением. Постановки краевой задачи в перемещениях и скоростях	4	-
8.	Реологические модели деформируемой среды. Линейное напряженное состояние	4	-
9.	Упруго-вязкие среды (общий случай). Пластические среды (общий случай)	4	-
10.	Методы решения системы уравнений термоупругопластичности	4	-
11.	Прямые и приближенные методы решения задачи теплопроводности	4	-
12.	Построение сетки в численных методах решения задач упругопластичности и теплопроводности	4	-
13.	Система разностных уравнений. Аппроксимация разностных функций. Интерполяция граничных условий	4	-
14.	Построение системы разностных уравнений в задачах термоупругопластичности	4	-
<b>Итого:</b>		<b>56</b>	<b>8</b>

#### 4.5. Лабораторные работы

Лабораторные работы по дисциплине «Математическое моделирование процессов горячей объемной штамповки» не предусмотрены учебным планом.

#### 4.6. Самостоятельная работа студентов

№ п/п	Название темы	Вид СРС	Объем часов	
			Очная форма	Заочная форма
1	2	3	4	5
1	Методология математического моделирования. Системный анализ. Физическое и математическое моделирование. Алгоритмические и неалгоритмические формы математических моделей. Машинная форма математических моделей. Основные технологические схемы моделирования: имитационная и системная.	Поиск, анализ, структурирование и изучение информации по темам. Подготовка к промежуточному контролю. Подготовка к практическим занятиям. Подготовка к итоговому контролю.	11	17
2	Обобщенная модель процессов горячей обработки давлением. Входные и выходные параметры. Структура математической модели процессов обработки металлов давлением. Требования, предъявляемые к математическим моделям, и их оценка. Погрешности модели.		11	17
3	Матрицы, операции с ними. Линейные алгебраические уравнения, методы решения. Тензоры: скаляры, векторы и операции с ними.		11	17
4	Основные положения механики сплошных в аспекте матричного и тензорного их представления. Материальная частица. Способы		11	17

	описания движения сплошной среды. Компоненты тензоров. Материальной и пространственный градиенты деформации.			
5	Мера линейной деформации. Тензор конечных деформаций Коши - Грина. Тензор Альманси. Тензор деформации Генки. Эллипсоид деформаций. Тензор малых деформаций, его инварианты.		11	17
6	Мгновенное состояние материальной частицы. Скорость движения материальной частицы. Тензор скорости деформации, его компоненты и инварианты. Напряженное состояние сплошной среды. Тензор напряжений, его компоненты и инварианты. Интенсивность напряжений.		11	17
7	Краевые условия. Постановки краевой задачи в перемещениях и скоростях. Краевые условия начальные и граничные. Виды механических и температурных граничных условий.		11	17
8	Определение реологии. Реологические модели для линейного напряженного состояния. Линейноупругая среда Гука. Жесткопластическая среда Мизеса. Линейновязкая среда Ньютона. Жесткопластическая упрочняющаяся, упруго-пластическая и вязкопластическая среды.		11	17
9	Обобщенный закон Гука. Постоянные Лямэ. Переход материала в пластическое состояние. Условия пластичности Треска-Сен-Венана и Губера-Мизеса. Теория малых упругопластических деформаций. Теория вязкопластического течения. Теория конечной монотонной деформации.	Поиск, анализ, структурирование и изучение информации по темам. Подготовка к промежуточному контролю. Подготовка к практическим занятиям. Подготовка к итоговому контролю.	11	17
10	Связность механической и тепловой частей решения краевой задачи. Два подхода к решению задачи теплопроводности. Прямые и приближенные методы решения задачи теплопроводности. Классификация численных методов решения задач упругопластичности и теплопроводности.		11	17
11	Примеры построения сеток метода конечных разностей. Регулярные и нерегулярные сетки. Система разностных уравнений. Аппроксимация разностных функций. Интерполяция граничных условий.		11	17
12	Сведение дифференциального уравнения к системе линейных алгебраических уравнений. Построение ленточных матриц. Задача Неймана. Решение многомерных задач. Особенности решения нелинейных задач. Нестационарные задачи.		11	17
<b>Итого:</b>			<b>132</b>	<b>204</b>

**4.7. Курсовая работа.** Учебным планом предусмотрено выполнение курсовой работы. Тема работы «Моделирование контактных напряжений и усилий при реализации операций обработки металлов давлением».

Структура курсовой работы:

Вывод различными методами формул для расчета касательных и нормальных напряжений.

Вывод формул для полного и требуемого усилий для выполнения операций различными методами.

Выполнение расчетов напряжений и усилий по полученным формулам по заданным методам.

Построение эпюр нормальных и касательных напряжений на контактных поверхностях.

Построение зависимостей требуемых усилий операций от размеров образцов, коэффициента трения и заданных условий протекания процесса по полученным формулам.

## **5. Образовательные технологии**

Преподавание дисциплины «Математическое моделирование процессов горячей объемной штамповки» ведется с применением следующих видов образовательных технологий:

традиционные объяснительно-иллюстративные технологии, которые обеспечивают доступность учебного материала для большинства студентов, системность, отработанность организационных форм и привычных методов, относительно малые затраты времени;

технологии проблемного обучения, направленные на развитие познавательной активности, творческой самостоятельности студентов и предполагающие последовательное и целенаправленное решение студентом познавательных задач;

технологии развивающего обучения, позволяющие ориентировать учебный процесс на потенциальные возможности студентов, их реализацию и развитие;

технологии концентрированного обучения, суть которых состоит в создании максимально близкой к естественным психологическим особенностям человеческого восприятия структуры учебного процесса и которые дают возможность глубокого и системного изучения содержания учебных дисциплин за счет объединения занятий в тематические блоки.

## **6. Учебно-методическое и программно-информационное обеспечение дисциплины:**

### **а) основная литература:**

1. Трусова П.В., Введение в математическое моделирование : учеб. пособие / Под ред. П.В. Трусова - М. : Логос, 2017. - 440 с. - ISBN 978-5-98704-637-1 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785987046371.html>

2. Губарь Ю.В., Введение в математическое моделирование / Губарь Ю.В. - М.: Национальный Открытый Университет "ИНТУИТ", 2016. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : [http://www.studentlibrary.ru/book/intuit\\_059.html](http://www.studentlibrary.ru/book/intuit_059.html)

**б) дополнительная литература:**

1. Введение в математическое моделирование: Учебное пособие / Под ред. П.В. Трусова. – М.: Логос, 2004. – 440 с.
2. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: М.: Физматлит, 2005.
3. Теория обработки металлов давлением / под ред. И.Я. Тарковского. – М.: Metallurgizdat, 1963. – 672с.
4. Гун Г.Я. Математическое моделирование процессов обработки металлов давлением / Г.Я. Гун. – М.: Metallurgiya, 1983. – 352 с.
5. Конспект лекций по дисциплине "Математическое моделирование процессов горячей объемной штамповки" (для магистрантов по направлению подготовки 15.04.02 «Технологические машины и оборудование», программа «Технологии и машины обработки давлением») [Электронное издание] / Сост.: А.А. Стоянов. – Луганск: ЛНУ им. В. Даля, 2018.
6. Р.Шеннон. Имитационное моделирование систем: искусство и наука. – М.: МИР, 1978. – 418с.
7. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. – 279 с.
8. Прудковский Б.А. Зачем металлургу математические модели? – М.: Наука, 1989. – 191 с.
9. Вентцель Е.С. Исследование операций. Задачи, принципы методология. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1980. – 208 с.
10. Р.Шеннон. Имитационное моделирование систем: искусство и наука. – М.: МИР, 1978. – 418с.
11. <https://ru.wikipedia.org/wiki/ANSYS>
12. [http://tesis.com.ru/cae\\_brands/deform/](http://tesis.com.ru/cae_brands/deform/)

**г) интернет-ресурсы:**

1. Министерство образования и науки Российской Федерации – <http://минобрнауки.рф/>
2. Федеральная служба по надзору в сфере образования и науки – <http://obrnadzor.gov.ru/>
3. Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования – <http://fgosvo.ru>
4. Федеральный портал «Российское образование» – <http://www.edu.ru/>
5. Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» – <http://window.edu.ru/>

6. Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов – <http://fcior.edu.ru/>

### **Электронные библиотечные системы и ресурсы**

1. Электронно-библиотечная система «Консультант студента» – <http://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>

2. Электронно-библиотечная система «StudMed.ru» – <https://www.studmed.ru>

### **Информационный ресурс библиотеки образовательной организации**

1. Научная библиотека имени А. Н. Коняева – <http://biblio.dahluniver.ru/>

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Освоение дисциплины «Математическое моделирование процессов горячей объемной штамповки» предполагает использование академических аудиторий, соответствующих действующим санитарным и противопожарным правилам и нормам.

Прочее: рабочее место преподавателя, оснащенное доской, компьютером. На лекционных и практических занятиях используются: раздаточный материал, наглядные пособия, мультимедийный проектор для показа фильмов, набор заимствованных кинофильмов, имеется экран, прессы, штампы, мерительные и др. инструменты.

### **Программное обеспечение:**

<b>Функциональное назначение</b>	<b>Бесплатное программное обеспечение</b>	<b>Ссылки</b>
Офисный пакет	Libre Office 6.3.1	<a href="https://www.libreoffice.org/">https://www.libreoffice.org/</a> <a href="https://ru.wikipedia.org/wiki/LibreOffice">https://ru.wikipedia.org/wiki/LibreOffice</a>
Операционная система	UBUNTU 19.04	<a href="https://ubuntu.com/">https://ubuntu.com/</a> <a href="https://ru.wikipedia.org/wiki/Ubuntu">https://ru.wikipedia.org/wiki/Ubuntu</a>
Антивирус	Avast	<a href="http://www.avast.com/ru-ru/index">http://www.avast.com/ru-ru/index</a>
Браузер	FirefoxMozilla	<a href="http://www.mozilla.org/ru/firefox/fx">http://www.mozilla.org/ru/firefox/fx</a>
Браузер	Opera	<a href="http://www.opera.com">http://www.opera.com</a>
Почтовый клиент	MozillaThunderbird	<a href="http://www.mozilla.org/ru/thunderbird">http://www.mozilla.org/ru/thunderbird</a>
Файл-менеджер	FarManager	<a href="http://www.farmanager.com/download.php">http://www.farmanager.com/download.php</a>
Архиватор	7Zip	<a href="http://www.7-zip.org/">http://www.7-zip.org/</a>
Графический редактор	GIMP (GNU Image Manipulation Program)	<a href="http://www.gimp.org/">http://www.gimp.org/</a> <a href="http://gimp.ru/viewpage.php?page_id=8">http://gimp.ru/viewpage.php?page_id=8</a> <a href="http://ru.wikipedia.org/wiki/GIMP">http://ru.wikipedia.org/wiki/GIMP</a>
Распознавание текста	CuneiForm	<a href="http://cognitiveforms.ru/products/cuneiform/">http://cognitiveforms.ru/products/cuneiform/</a>
Редактор PDF	PDFCreator	<a href="http://www.pdfforge.org/pdfcreator">http://www.pdfforge.org/pdfcreator</a>
Видеоплеер	MediaPlayerClassic	<a href="http://mpc.darkhost.ru/">http://mpc.darkhost.ru/</a>
Аудиоплеер	VLC	<a href="http://www.videolan.org/vlc/">http://www.videolan.org/vlc/</a>

## 8. Оценочные средства по дисциплине

### Паспорт оценочных средств по учебной дисциплине «Математическое моделирование процессов горячей объемной штамповки»

Перечень компетенций (элементов компетенций), формируемых в результате освоения учебной дисциплины (модуля) или практики

№ п/п	Код контролируемой компетенции	Формулировка контролируемой компетенции	Индикаторы достижения компетенции	Контролируемые темы учебной дисциплины, практики	Этапы формирования (семестр изучения)
1	ПК-6	Способен выполнять моделирование штамповой оснастки и кузнечных инструментов	ПК-6.1. Знает специальные компьютерные программы для моделирования, оптимизации и расчета процессовковки и штамповки: наименования, возможности и порядок работы в них	Тема 1. Общие положения математического моделирования	2
				Тема 2. Математическая модель процессов горячей обработки давлением	2
				Тема 3. Математический аппарат моделирования	2
				Тема 4. Зависимости механики сплошной среды в матричном представлении	2
				Тема 5. Тензоры конечных деформаций. Тензор малых деформаций	2
				Тема 6. Тензор скорости деформации. Тензор напряжений	2
				Тема 7. Краевая задача в процессах горячей обработки давлением	2
				Тема 8. Реологические модели деформируемой среды. Линейное напряженное состояние	2
				Тема 9. Упруго-вязкие среды (общий случай). Пластические среды (общий случай)	2
				Тема 10. Методы решения системы уравнений термоупругопластичности	2
				Тема 11. Построение сетки в численных методах решения задач упругопластичности и теплопроводности	2
				Тема 12. Построение системы разностных уравнений в задачах термоупругопластичности	2
				ПК-6.2. Умеет моделировать технологические процессыковки и штамповки в специализированных программах	Тема 1. Общие положения математического моделирования
		Тема 2. Математическая модель процессов горячей обработки давлением	2		
		Тема 3. Математический аппарат моделирования	2		
		Тема 4. Зависимости механики сплошной среды в матричном представлении	2		
		Тема 5. Тензоры конечных деформаций. Тензор малых деформаций	2		
		Тема 6. Тензор скорости деформации. Тензор напряжений	2		
		Тема 7. Краевая задача в процессах горячей обработки давлением	2		

			Тема 8. Реологические модели деформируемой среды. Линейное напряженное состояние	2
			Тема 9. Упруго-вязкие среды (общий случай). Пластические среды (общий случай)	2
			Тема 10. Методы решения системы уравнений термоупругопластичности	2
			Тема 11. Построение сетки в численных методах решения задач упругопластичности и теплопроводности	2
			Тема 12. Построение системы разностных уравнений в задачах термоупругопластичности	2
		ПК-6.3. Владеет навыками моделирования технологических процессовковки и штамповки в компьютерных программах	Тема 1. Общие положения математического моделирования	2
			Тема 2. Математическая модель процессов горячей обработки давлением	2
			Тема 3. Математический аппарат моделирования	2
			Тема 4. Зависимости механики сплошной среды в матричном представлении	2
			Тема 5. Тензоры конечных деформаций. Тензор малых деформаций	2
			Тема 6. Тензор скорости деформации. Тензор напряжений	2
			Тема 7. Краевая задача в процессах горячей обработки давлением	2
			Тема 8. Реологические модели деформируемой среды. Линейное напряженное состояние	2
			Тема 9. Упруго-вязкие среды (общий случай). Пластические среды (общий случай)	2
			Тема 10. Методы решения системы уравнений термоупругопластичности	2
			Тема 11. Построение сетки в численных методах решения задач упругопластичности и теплопроводности	2
			Тема 12. Построение системы разностных уравнений в задачах термоупругопластичности	2

### Показатели и критерии оценивания компетенций, описание шкал оценивания

№ п/п	Код контролируемой компетенции	Индикаторы достижения компетенции	Перечень планируемых результатов	Контролируемые темы учебной дисциплины	Наименование оценочного средства
1	ПК-6	ПК-6.1. Знает специальные компьютерные программы для моделирования, оптимизации и расчета процессов	<i>знать</i> методы определения показателей технического уровня процессов горячей объемной штамповки; <i>уметь</i> разрабатывать теоретические модели процессов горячей объемной штамповки;; <i>владеть:</i> навыками	Тема 1, Тема 2, Тема 3, Тема 4, Тема 5, Тема 6, Тема 7, Тема 8,	Вопросы для комбинированного контроля усвоения теоретического материала, задания к практическим

	ковки и штамповки: наименования, возможности и порядок работы в них	моделирования технологических процессов горячей объемной штамповки	Тема 9, Тема 10, Тема 11, Тема 12	занятиям, задания к курсовой работе, задания к самостоятельной работе, рефераты, экзамен
	ПК-6.2. Умеет моделировать технологические процессы ковки и штамповки в специализированных программах	<i>знать</i> исходные параметры и методы моделирования процессов горячей объемной штамповки; <i>уметь</i> применять математические методы моделирования процессов горячей объемной штамповки при решении прикладных задач; <i>владеть:</i> способностью определять показатели технического уровня проектируемых процессов горячей объемной штамповки	Тема 1, Тема 2, Тема 3, Тема 4, Тема 5, Тема 6, Тема 7, Тема 8, Тема 9, Тема 10, Тема 11, Тема 12	Вопросы для комбинированного контроля усвоения теоретического материала, задания к практическим занятиям, задания к курсовой работе, задания к самостоятельной работе, рефераты, экзамен
	ПК-6.3. Владеет навыками моделирования технологических процессов ковки и штамповки в компьютерных программах	<i>знать</i> специальные компьютерные программы для моделирования, оптимизации и расчета процессов горячей объемной штамповки; <i>уметь</i> использовать результаты математического моделирования для оптимизации и модернизации реальных технологических процессов горячей объемной штамповки; <i>владеть:</i> способностью анализировать и выбирать оптимальные технологические решения, прогнозировать их последствия	Тема 1, Тема 2, Тема 3, Тема 4, Тема 5, Тема 6, Тема 7, Тема 8, Тема 9, Тема 10, Тема 11, Тема 12	Вопросы для комбинированного контроля усвоения теоретического материала, задания к практическим занятиям, задания к курсовой работе, задания к самостоятельной работе, рефераты, экзамен

**Фонды оценочных средств по дисциплине  
«Математическое моделирование процессов  
горячей объемной штамповки»**

**Вопросы для комбинированного контроля усвоения  
теоретического материала (устно или письменно)**

1. Что такое модель?
2. Какие виды моделирования Вы знаете?
3. Какие виды математических моделей существуют?
4. Что понимают под технологией моделирования?
5. Какие технологии моделирования Вы знаете?
6. Какие основные требования предъявляются к моделям?
7. Что понимают под адекватностью модели?
8. Какие подходы к оценке точности модели известны?

9. Какие виды погрешности возникают при реализации математической модели на ЭВМ?
10. Как оценивают универсальность и экономичность модели?
11. Что такое матрица?
12. Какие алгебраические действия с матрицами определены?
13. Каким условием должны обладать перемножаемые матрицы?
14. Что такое единичная матрица?
15. Какая матрица называется вырожденной?
16. В каких случаях существует обратная матрица?
17. Как в матричной форме записывается система линейных алгебраических уравнений?
18. Чем отличаются основная и расширенная матрица коэффициентов системы уравнений?
19. При каких условиях существует единственное решение системы уравнений?
20. Что характеризует число обусловленности матрицы?
21. Чем принципиально отличается тензор от скаляра?
22. Какие действия выполняются над тензорами?
23. Что такое собственные числа и главные направления тензора?
24. Какие базовые инварианты тензора Вы знаете?
25. В чем состоит правило суммирования А. Энгелена по повторяющимся индексам?
26. Что такое материальная частица?
27. Какие два способа описания движения сплошной среды Вы знаете?
28. Что характеризуют материальный и пространственный градиенты деформации?
29. Как связаны между собой тензоры конечных деформаций Коши-Грина и Альманси?
30. В чем преимущество и недостатки тензора логарифмических деформаций Генки по сравнению с другими тензорами конечных деформаций?
31. К каким упрощениям приводит предположение о малости перемещений?
32. Что характеризуют диагональные и боковые элементы тензора малых деформаций?
33. Каков физический смысл линейного инварианта тензора малых деформаций?
34. Как выражается скорость деформации в произвольном направлении?
35. Что такое тензор скорости деформации?
36. Как определяются компоненты тензора приращений деформаций?
37. Что такое девиатор напряжений?
38. Какие инварианты девиатора напряжений имеют физический смысл?

39. Какова связь между интенсивностью нормальных и касательных напряжений?

40. Что понимают под краевой задачей ОМД?

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству –  
*комбинированный контроль усвоения теоретического материала*

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
отлично (5)	Ответ дан на высоком уровне (студент в полном объеме осветил рассматриваемую проблематику, привел аргументы в пользу своих суждений, владеет профильным понятийным (категориальным) аппаратом и т.п.)
хорошо (4)	Ответ дан на среднем уровне (студент в целом осветил рассматриваемую проблематику, привел аргументы в пользу своих суждений, допустив некоторые неточности и т.п.)
удовлетворительно (3)	Ответ дан на низком уровне (студент допустил существенные неточности, изложил материал с ошибками, не владеет в достаточной степени профильным категориальным аппаратом и т.п.)
неудовлетворительно (2)	Ответ дан на неудовлетворительном уровне или не представлен (студент не готов, не выполнил задание и т.п.)

**Задания по практическим занятиям:**

1. Практическое занятие № 1. Методология математического моделирования
2. Практическое занятие № 2. Обобщенная модель процессов горячей обработки давлением. Входные и выходные параметры
3. Практическое занятие № 3. Линейные алгебраические уравнения, методы решения. Тензоры: скаляры, векторы и операции с ними
4. Практическое занятие № 4. Основные положения механики сплошных сред в. Материальная частица. Способы описания движения сплошной среды. Компоненты тензоров
5. Практическое занятие № 5. Тензоры конечных деформаций. Тензор малых деформаций
6. Практическое занятие № 6. Тензор скорости деформации. Тензор напряжений
7. Практическое занятие № 7. Краевая задача в процессах горячей обработки давлением. Постановки краевой задачи в перемещениях и скоростях.
8. Практическое занятие № 8. Реологические модели деформируемой среды. Линейное напряженное состояние
9. Практическое занятие № 9. Упруго-вязкие среды (общий случай). Пластические среды (общий случай)
10. Практическое занятие № 10. Методы решения системы уравнений термоупругопластичности
11. Практическое занятие № 11. Прямые и приближенные методы решения задачи теплопроводности.

12. Практическое занятие № 12. Построение сетки в численных методах решения задач упругопластичности и теплопроводности.
13. Практическое занятие № 13. Система разностных уравнений. Аппроксимация разностных функций. Интерполяция граничных условий.
14. Практическое занятие № 14. Построение системы разностных уравнений в задачах термоупругопластичности.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству –  
*задания по практическим занятиям*

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
отлично (5)	Задание выполнено на высоком уровне (студент в полном объеме осветил рассматриваемую проблематику, привел аргументы в пользу своих суждений, владеет профильным понятийным (категориальным) аппаратом и т.п.)
хорошо (4)	Задание выполнено на среднем уровне (студент в целом осветил рассматриваемую проблематику, привел аргументы в пользу своих суждений, допустив некоторые неточности и т.п.)
удовлетворительно (3)	Задание выполнено на низком уровне (студент допустил существенные неточности, изложил материал с ошибками, не владеет в достаточной степени профильным категориальным аппаратом и т.п.)
неудовлетворительно (2)	Задание выполнено на неудовлетворительном уровне или не представлен (студент не готов, не выполнил задание и т.п.)

**Темы рефератов:**

1. Общие положения математического моделирования.
2. Математический аппарат моделирования.
3. Тензоры конечных деформаций.
4. Тензор малых деформаций.
5. Краевая задача в обработке металлов давлением.
6. Упруго-вязкие среды.
7. Пластические среды.
8. Построение конечно-элементной сетки.
9. Разностная схема краевой задачи.
10. Общие положения метода конечных элементов.
11. Объединение конечных элементов в ансамбль.
12. Дву- и трехмерные задачи линейной упругости.
13. Геометрически нелинейные задачи.
14. Нестационарные и динамические задачи теплопроводности.
15. Построение разрешающей системы алгебраических уравнений термоупругопластичности.

### Критерии и шкала оценивания по оценочному средству – *реферат*

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
отлично (5)	Реферат представлен на высоком уровне (студент в полном объеме осветил рассматриваемую проблематику, привел аргументы в пользу своих суждений, владеет профильным понятийным (категориальным) аппаратом и т.п.). Оформлен в соответствии с требованиями, предъявляемыми к данному виду работ.
хорошо (4)	Реферат представлен на среднем уровне (студент в целом осветил рассматриваемую проблематику, привел аргументы в пользу своих суждений, допустив некоторые неточности и т.п.). В оформлении допущены некоторые неточности в соответствии с требованиями, предъявляемыми к данному виду работ.
удовлетворительно (3)	Реферат представлен на низком уровне (студент допустил существенные неточности, изложил материал с ошибками, не владеет в достаточной степени профильным категориальным аппаратом и т.п.). В оформлении допущены ошибки в соответствии с требованиями, предъявляемыми к данному виду работ.
неудовлетворительно (2)	Реферат представлен на неудовлетворительном уровне или не представлен (студент не готов, не выполнил задание и т.п.)

### Тема и задание курсовой работы:

Тема: Моделирование контактных напряжений и усилий при реализации операций обработки металлов давлением.

Преподавателем выдается задание на курсовую работу.

Структура курсового проекта:

1. Характеристика операции в соответствии с заданием.
2. Основные положения заданного метода расчета.
3. Вывод приближенного уравнения равновесия для деформирования образцов заданным способом в заданных условиях.
4. Вывод формул для нормальных напряжений на контактной поверхности заданным методом для заданных условий.
5. Построение эпюр нормальных и касательных напряжений.
6. Вывод формул для усилий заданной операции для заданных условий.
7. Построение графиков зависимостей относительного удельного усилия от размеров образцов и коэффициента контактного трения.
8. Выводы.

### Критерии и шкала оценивания по оценочному средству – *курсовая работа*

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
отлично (5)	В курсовом проекте содержание соответствует заявленной теме; в полном объеме раскрыты вопросы теоретической и практической части проекта; отсутствуют ошибки, неточности, несоответствия в изложении разделов; сделаны верные выводы;

	высокое качество оформления; представление курсового проекта в указанные сроки; уверенная защита.
хорошо (4)	В курсовом проекте содержание соответствует заявленной теме; наличие небольших неточностей в изложении теоретического или практического разделов; верные выводы; хорошее качество оформления; представление курсового проекта в указанные сроки.
удовлетворительно (3)	В курсовом проекте содержание соответствует заявленной теме; недостаточно полно раскрыты вопросы теоретической или практической части; наличие ошибок и неточностей в изложении теоретического или практического разделов; недостаточно глубокий анализ результатов; небрежное оформление; представление курсового проекта в поздние сроки; ошибки и неточности в ходе защиты.
неудовлетворительно (2)	В курсовом проекте содержание не соответствует заявленной теме; не раскрыты вопросы теоретической или практической части; наличие грубых ошибок в изложении теоретического или практического разделов; отсутствие анализа результатов; низкое качество оформления; представление в поздние сроки; грубые ошибки в ходе защиты.

### Вопросы к экзамену:

1. Какие постановки краевой задачи ОМД известны?
2. В чем различие начальных и граничных условий?
3. Какие виды механических и температурных граничных условий Вы знаете?
4. Какие существуют простые реологические модели?
5. Что такое наследственные среды?
6. Какой вид имеют зависимости между напряжениями и деформациями для линейной упругой среды?
7. Как эти зависимости изменяются в случае линейно-вязкой среды?
8. Для чего используется условие пластичности?
9. Какие основные теории используют для моделирования пластических сред?
10. Какую деформацию называют монотонной?
11. В чем особенность системы уравнений термовязкоупруго-пластичности?
12. Какие методы учета связности тепловой и механической частей задачи существуют?
13. Какие методы называют прямыми?
14. Какие этапы численного решения краевых задач Вы знаете?
15. Какие виды дискретизации расчетной области существуют?
16. Какие численные методы решения задач ОМД существуют?
17. В чем различие регулярных и нерегулярных сеток?
18. Какие узлы сетки принято называть внутренними?

19. Какие виды конечно-разностных аппроксимаций первых производных Вы знаете?
20. Как оценивается погрешность конечно-разностной аппроксимации?
21. В каких случаях осуществляется интерполяция граничных условий?
22. В чем заключается интерполяция граничных условий?
23. Как в матричной форме записывается система алгебраических уравнений МКР?
24. Какие особенности имеет матрица коэффициентов системы уравнений?
25. Какие задачи в математике называют задачами Неймана?
26. В каком случае матрица коэффициентов системы алгебраических уравнений для многомерных задач является симметричной?
27. Как рассчитываются граничные условия?
28. Какие особенности имеет матрица коэффициентов нелинейных задач?
29. Как задается начальное приближение?
30. В чем особенности построения сетки при решении нестационарных задач?
31. В чем состоит принцип минимума потенциальной энергии для линейноупругой системы?
32. Как связаны глобальная и локальная матрицы жесткости?
33. Какие виды нагрузок рассматриваются при построении локальных матриц элементов?
34. Как записываются локальные матрицы жесткости и нагрузки в одномерной задаче?
35. Что такое температурная деформация стержня?
36. В чем отличие плоского напряженного и плоского деформированного состояния?
37. Как записывается вектор-столбец, связанный с тепловым расширением?
38. Какую размерность имеет локальная матрица для трехмерного симплекс-элемента?
39. От чего зависит расположение нулей в вектор-столбце поверхностной нагрузки?
40. Какая постановка краевой задачи используется при учете вязких свойств?
41. Сколько неизвестных определяется в каждом узле элемента?
42. Как задаются теплофизические свойства материала?
43. Какие матрицы элемента зависят от наличия теплообмена?
44. Как задаются теплофизические свойства?
45. Как записывается матрица теплопроводности?
46. Какую размерность имеет матрица механических свойств?
47. Что характеризует матрица демпфирования?
48. Какие методы аппроксимации частных производных по времени в нестационарных задачах существуют?

49. Какие силы учитываются дополнительно в динамической задаче?  
 Что характеризует матрица масс?  
 50. Как рассчитывается усилие деформирования?  
 51. Как рассчитывается работа деформирования?

**Критерии и шкала оценивания по оценочному средству – экзамен**

Национальная шкала	Характеристика знания предмета и ответов
отлично (5)	Студент глубоко и в полном объеме владеет программным материалом. Грамотно, исчерпывающе и логично его излагает в устной или письменной форме. При этом знает рекомендованную литературу, проявляет творческий подход в ответах на вопросы и правильно обосновывает принятые решения, хорошо владеет умениями и навыками при выполнении практических задач.
хорошо (4)	Студент знает программный материал, грамотно и по сути излагает его в устной или письменной форме, допуская незначительные неточности в утверждениях, трактовках, определениях и категориях или незначительное количество ошибок. При этом владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении практических задач.
удовлетворительно (3)	Студент знает только основной программный материал, допускает неточности, недостаточно четкие формулировки, непоследовательность в ответах, излагаемых в устной или письменной форме. При этом недостаточно владеет умениями и навыками при выполнении практических задач. Допускает до 30% ошибок в излагаемых ответах.
неудовлетворительно (2)	Студент не знает значительной части программного материала. При этом допускает принципиальные ошибки в доказательствах, в трактовке понятий и категорий, проявляет низкую культуру знаний, не владеет основными умениями и навыками при выполнении практических задач. Студент отказывается от ответов на дополнительные вопросы.

**Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков**

Дисциплина «Математическое моделирование процессов горячей объемной штамповки» предусматривает практические занятия и самостоятельную работу студентов.

Текущий контроль осуществляется в процессе проведения практических занятий используя, приведенные выше способы оценивания освоения дисциплины по усмотрению преподавателя и в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины.

Промежуточный контроль осуществляется в соответствии с графиком учебного процесса.

### Лист изменений и дополнений

№ п/п	Виды дополнений и изменений	Дата и номер протокола заседания кафедры (кафедр), на котором были рассмотрены и одобренны изменения и дополнения	Подпись (с расшифровкой) заведующего кафедрой (заведующих кафедрами)