

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский
политехнический университет**

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе


_____ Н.В.Лобов

« 09 » декабря 20 19 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина: _____ **Физические теории пластичности**
(наименование)

Форма обучения: _____ **очная**
(очная/очно-заочная/заочная)

Уровень высшего образования: _____ **магистратура**
(бакалавриат/специалитет/магистратура)

Общая трудоёмкость: _____ **144 (4)**
(часы (ЗЕ))

Направление подготовки: _____ **01.04.02 Прикладная математика и информатика**
(код и наименование направления)

Направленность: _____ **Математическое моделирование физико-механических процессов**
(наименование образовательной программы)

1. Общие положения

1.1. Цели и задачи дисциплины

Привитие навыков и умения физического анализа механизмов неупругого деформирования поликристаллических металлов и сплавов, адекватного математического описания этих механизмов, применения физических теорий пластичности при построении математических моделей широкого класса физико-механических процессов.

Задачи дисциплины:

Свободное владение основными понятиями, знание механизмов необратимых деформаций и их носителей.

Знание основных типов моделей физических теорий пластичности, областей их применимости, физических механизмов, ответственных за поведение конденсированных сред.

Умение выбора подходов к построению, типов и конкретных физических теорий при построении моделей реальных систем и процессов.

Навыки модификации существующих и построения новых моделей физических теорий пластичности для описания поведения физико-механических систем и процессов.

1.2. Изучаемые объекты дисциплины

Предметом освоения дисциплины являются следующие объекты:

- Основные понятия и определения физики твердого тела в целом и теории дефектов – в особенности.
- Физико-механические основы и физические механизмы, ответственные за неупругое деформирование металлов и сплавов.
- Подходы и методы построения конститутивных моделей физических теорий пластичности.
- Классификации и типы физических теорий пластичности.
- Современные модели физических теорий пластичности.
- Многоуровневые конститутивные модели.

1.3. Входные требования

При изложении дисциплины полностью используются подходы и методы, ранее изложенные в курсе общей теории определяющих соотношений. Особое внимание уделено конкретизации общей структуры конститутивной модели, основанной на введении внутренних переменных. Изложение базируется на знании дисциплин: Теория пластичности, Тензорный анализ, МСС.

Поскольку КМ физических теорий пластичности должны отражать физическое строение материальных тел, при их рассмотрении используются различные разделы физики (в частности, физика твердого тела). С другой стороны, являясь математическим моделированием поведения материальных тел, физические теории пластичности опираются на такие разделы математики, как алгебра, теория множеств, тензорное исчисление, функциональный анализ и др.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
-------------	-------------------	---	--	-----------------

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-1.1	ИД-1ПК-1.1	Знает: Классификацию и основные типы физических теорий пластичности, их достоинства и недостатки, области применимости	Знает особенности и границы применимости современных моделей материалов, аналитических и численных методов решения задач физики и механики сплошных сред, знает методы построения новых математических моделей для решения прикладных задач моделирования физико-механических процессов.	Контрольная работа
ПК-1.1	ИД-2ПК-1.1	Умеет: Выбирать и обосновывать выбор физических теорий пластичности для построения моделей конкретных процессов деформирования моно- и поликристаллических тел	Умеет обосновывать выбор и применять современные математические модели материалов, разрабатывать новые математические модели сплошных сред для решения междисциплинарных прикладных и фундаментальных научных задач, анализировать результаты их решения и идентифицировать параметры математических моделей по экспериментальным данным, умеет модифицировать и развивать методы решения прикладных задач физики и механики сплошных сред	Экзамен
ПК-1.1	ИД-3ПК-1.1	Владеет: Навыками физического анализа процессов неупругого деформирования моно- и поликристаллических материалов, определения применимости различных физических теорий, выбора и модификации многоуровневых моделей для описания технологических процессов	Владеет навыками технологией разработки новых математических моделей сложных сред и имеет опыт решения современных междисциплинарных физико-механических задач с использованием известных и модифицированных подходов и методов физики и механики сплошных сред, опытом	Индивидуальное задание

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
		деформирования материалов	применения на практике результатов их решения	

3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		2	
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	45	45	
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	16	16	
- лабораторные работы (ЛР)			
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	27	27	
- контроль самостоятельной работы (КСР)	2	2	
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	63	63	
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен	36	36	
Дифференцированный зачет			
Зачет			
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)	18	18	
Общая трудоемкость дисциплины	144	144	

4. Содержание дисциплины

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
2-й семестр				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Основные понятия и определения. Кинематика пластического деформирования кристаллитов.	6	0	8	30
Тема 1. Введение. Основные понятия и определения; многоуровневые модели; классификация физических теорий пластичности (ФТП); структура конститутивных моделей ФТП. Механизмы неупругого деформирования, консервативное и неконсервативное движение дислокаций, их взаимодействие между собой и с другими дефектами. Тема 2. Условие текучести Шмида, уравнение Орована. Механизмы и законы упрочнения систем скольжения, активное и латентное упрочнение, влияние границ зерен. Локализация пластических деформаций, влияние поверхности образца. Тема 3. Кинематика пластического деформирования кристаллитов. Трансляционная и ротационная моды деформации. Двойникование, влияние двойников на упрочнение. Ориентированное и неориентированное упрочнение, модели для их описания. Моды неупругого деформирования. Статистически накопленные и геометрически необходимые дислокации, изгибы–кручения решетки. Ротационные моды деформирования, модели ротации.				
Структура и классификация моделей физической теории пластичности..	10	0	19	33
Тема 4. Жесткопластические модели. Модели Закса, Тейлора, Бишопа – Хилла, построение кривой напряжение – деформация при одноосном нагружении, принцип максимальной работы, принцип минимума суммарного сдвига. Современные модификации данных моделей. Модели ротации кристаллитов. Упругопластические модели. Модель Линя. Основные трудности реализации упругопластических моделей. Применение упругопластических моделей для решения краевых задач макроуровня. Гипо- и гиперупругий законы. Мультипликативное разложение градиента места, аддитивное разложение градиента скорости перемещений. Тема 5. Вязкоупругие, вязкопластические и упруговязкопластические модели. Упруговязкопластические модели Асаро и Нидлемана, Кофари и Ананд. Преимущества упруговязкопластических моделей. Современные модификации упруговязкопластических моделей. Тема 6. Структура и классификация многоуровневых моделей. Классификация внут-				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
ренних переменных и уравнений конститутивной модели. Согласование определяющих со-отношений масштабных уровней. Классификация внутренних переменных и уравнений конститутивной модели на примере двухуровневой упруговязкопластической модели. Модель поворотов кристаллической решетки, учитывающая взаимодействие элементов мезоуровня. Алгоритм реализации двухуровневой упруговязкопластической модели.				
ИТОГО по 2-му семестру	16	0	27	63
ИТОГО по дисциплине	16	0	27	63

Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Условие текучести Шмида, определение поверхности текучести ГЦК, ОЦК и ГПУ монокристаллов. Механизмы и законы упрочнения систем скольжения, активное и латентное упрочнение, влияние границ зерен.
2	Вывод кинематических соотношений для описания пластического деформирования кристаллитов. Описание ротации кристаллической решетки, модели Тейлора и материального поворота. Определение пластических деформаций за счет двойникования; законы упрочнения систем скольжения с учетом двойников.
3	Решение задач деформирования ГЦК, ОЦК и ГПУ монокристаллов с использованием моделей Закса, Тейлора, Бишопа – Хилла, построение кривой напряжение – деформация при одноосном нагружении.
4	Доказательство принципов максимальной работы, минимума суммарного сдвига. Постановки и решения задач одноосного нагружения и стесненной осадки.
5	Решение задач упругопластического деформирования ГЦК, ОЦК и ГПУ кристаллов с применением модели Линя.
6	Решение задач неупругого деформирования с использованием вязкоупругих и упруговязкопластических моделей и различных законов вязкости типов.
7	Разработка модифицированных моделей с учетом двойникования и различных законов упрочнения.
8	Решение задач на согласование определяющих соотношений двух- и трехуровневых моделей.
9	Решение задач на определение моментных напряжений и ротации кристаллитов для бикристаллов с различной взаимной ориентацией.

Тематика примерных курсовых проектов/работ

№ п.п.	Наименование темы курсовых проектов/работ
1	Построение поверхности текучести ГЦК и ОЦК монокристаллов.

№ п.п.	Наименование темы курсовых проектов/работ
2	Построение поверхности текучести ГПУ монокристаллов при учете базовых, призматических и пирамидальных систем скольжения.
3	Разработка законов деформационного и латентного упрочнения для ГЦК и ОЦК монокристаллов.
4	Разработка законов упрочнения для ГЦК и ОЦК монокристаллов с учетом двойникования.
5	Построение кривой одноосного нагружения монокристаллов с ГЦК и ОЦК решетками при различной ориентации решетки по отношению к оси нагружения.
6	Построение кривой одноосного нагружения монокристаллов с ГПУ решеткой при различной ориентации решетки по отношению к оси нагружения.

5. Организационно-педагогические условия

5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при котором учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установление связей с ранее освоенным материалом.

Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются проблемные области, формируются группы. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и креативных методов для решения проблем и принятия решений; отработка у обучающихся навыков командной работы, межличностных коммуникаций и развитие лидерских качеств; закрепление основ теоретических знаний.

При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, анализ ситуаций.

5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

6. Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

6.1. Печатная учебно-методическая литература

№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
-------	---	-------------------------------------

№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
1. Основная литература		
1	Трусов П. В. Теория пластичности : учебное пособие для вузов / П. В. Трусов, А. И. Швейкин. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2011.	50
2	Трусов П. В. Физические теории пластичности : учебное пособие / П. В. Трусов, П. С. Волегов, Н. С. Кондратьев. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2013.	5
2. Дополнительная литература		
2.1. Учебные и научные издания		
1	1. - Санкт-Петербург: , Лань, 2004. - (Механика сплошной среды : учебник для вузов : в 2 т.; Т. 1).	49
2	2. - Санкт-Петербург: , Лань, 2004. - (Механика сплошной среды : учебник для вузов : в 2 т.; Т. 2).	39
3	Зарубин В. С. Математические модели термомеханики / В. С. Зарубин, Г. Н. Кувыркин. - Москва: Физматлит, 2002.	1
4	Лотов К. В. Физика сплошных сред : учебное пособие для вузов / К. В. Лотов. - Москва Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002.	2
5	Можен Ж. Механика электромагнитных сплошных сред : учебное издание : пер. с англ / Ж. Можен. - Москва: Мир, 1991.	-1
2.2. Периодические издания		
1	Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа : научный журнал / Российская академия наук. - Москва: Наука, 1966 - .	
2	Известия Российской академии наук. Механика твердого тела : научный журнал / Институт механики; Центральный научно-исследовательский институт машиностроения. - Москва: Наука, 1966 - .	
3	Прикладная механика и техническая физика : журнал / Российская академия наук. Сибирское отделение; Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева; Институт теоретической и прикладной механики. - Новосибирск: СО РАН, 1960 - .	
4	Физика твердого тела : журнал / Российская академия наук. Отделение физических наук; Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе. - Санкт-Петербург: Наука, 1959 - .	
5	Физическая мезомеханика : журнал / Российская академия наук. Сибирское отделение; Институт физики прочности и материаловедения. - Томск: Ин-т физики прочности и материаловедения СО РАН, 1998 - .	
2.3. Нормативно-технические издания		
	Не используется	
3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины		
	Не используется	
4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента		
	Не используется	

6.2. Электронная учебно-методическая литература

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Основная литература	Трусов П. В. Физические теории пластичности : учебное пособие / П. В. Трусов, П. С. Волегов, Н. С. Кондратьев. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2013.	http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib3603	сеть Интернет; свободный доступ
Основная литература	Трусов П. В. Теория пластичности : учебное пособие для вузов / П. В. Трусов, А. И. Швейкин. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2011.	http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib3293	локальная сеть; свободный доступ

6.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Вид ПО	Наименование ПО
Операционные системы	Windows 10 (подп. Azure Dev Tools for Teaching)
Прикладное программное обеспечение общего назначения	Dr.Web Enterprise Security Suite, 3000 лиц, ПНИПУ ОЦНИТ 2017
Прикладное программное обеспечение общего назначения	Microsoft Office Visio Professional 2016 (подп. Azure Dev Tools for Teaching)

6.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
База данных Scopus	https://www.scopus.com/
База данных Web of Science	http://www.webofscience.com/
База данных научной электронной библиотеки (eLIBRARY.RU)	https://elibrary.ru/
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	http://lib.pstu.ru/
Электронно-библиотечная система Лань	https://e.lanbook.com/
Электронно-библиотечная система IPRbooks	http://www.iprbookshop.ru/
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	http://www.consultant.ru/

7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Курсовая работа	Персональные компьютеры (локальная компьютерная сеть)	10
Лекция	Видеопроектор	1
Лекция	Ноутбук	1
Практическое занятие	Персональные компьютеры (локальная компьютерная сеть)	10

8. Фонд оценочных средств дисциплины

Описан в отдельном документе