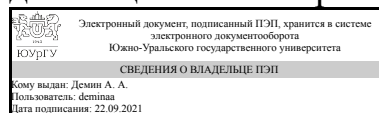


# ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ:  
Директор института  
Институт открытого и  
дистанционного образования



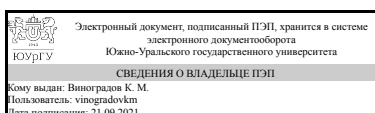
А. А. Демин

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины В.1.12 Физические основы прочности  
для направления 22.03.02 Metallurgy  
уровень бакалавр тип программы Прикладной бакалавриат  
профиль подготовки Электрометаллургия стали  
форма обучения очная  
кафедра-разработчик Техника, технологии и строительство

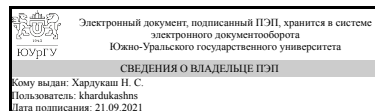
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 22.03.02 Metallurgy, утверждённым приказом Минобрнауки от 04.12.2015 № 1427

Зав.кафедрой разработчика,  
к.техн.н., доц.



К. М. Виноградов

Разработчик программы,  
старший преподаватель



Н. С. Хардукаш

## 1. Цели и задачи дисциплины

Иметь представление о хрупкости и методах ее устранения; знать элементы теории дислокаций; иметь представление о деформационном, зернограничном, твердорастворном механизмах упрочнения и процессах дисперсионного твердения, уметь проводить оценки прочности сплавов исходя из состава и структурных параметров системы.

### Краткое содержание дисциплины

Введение 1 Диаграмма растяжения. Упругая и пластическая деформация. Роль касательных и нормальных напряжений. Механические свойства. Образование шейки. Скольжение как основной механизм деформации. Понятие о критическом касательном напряжении. 2 Разрушение твердых тел Химическая связь; виды. Потенциал притяжения и отталкивания. Зависимость потенциальной энергии от расстояния. Равновесие. Силы межатомного взаимодействия при малых и больших взаимных смещениях, Колебания атомов. Энергия колебаний. Распределение осцилляторов по энергиям. Флуктуации. Равновесие сил на атом при растяжении. Теоретическая прочность на разрыв. Сравнение с опытом. Причина расхождения реальной и теоретической прочности. Опыт Иоффе и Гриффитса. Энергетика роста хрупкой трещины. Теория роста Гриффитса. Роль внешней среды. Обнаружение Орована зоны пластической деформации у поверхности трещины; понятие удельной работы пластической деформации у пл. Учет у пл в теории Гриффитса. Иной вывод формулы Орована. Схемы Иоффе и Фридмана для температурного порога хладноломкости. Хрупкий и вязкий изломы. Камневидный излом стали; явление красноломкости меди и ее сплавов; изломы, обусловленные выделением хрупких фаз. Хрупкость тугоплавких металлов. Отпускная хрупкость закаленной стали. Поля напряжений и деформации около вершины трещины. Энергетический силовой критерий роста. Критический коэффициент интенсивности напряжений  $K_{Ic}$ . Поправки к теории Ирвина. Методы измерения  $K_{Ic}$ . Решение простейших задач на трещиностойкость. 3 Точечные дефекты решётки Понятие о дефектах решётки. Точечные дефекты, искажения решётки, энергия образования. Механизмы образования точечных дефектов по Френкелю и Шоттки. Термодинамика образования точечных дефектов. Сверхравновесные дефекты при заливке, облучении, пластической деформации. Отжиг дефектов. Частота перескоков вакансий и атомов, уравнения диффузии. Коэффициенты диффузии атомов и вакансий. Влияние напряжений на долю вакантных узлов. Вакансионная и другие виды ползучести, рост пор и разрушение при ползучести. Спекание порошков. 4 Основные теории дислокаций. Обзор свойств дислокаций (по Френкелю, Тейлору, Бюргерсу). Реальные причины образования дислокаций при кристаллизации. Поля напряжений около дислокаций. Упругая энергия, ядро. Напряжение дислокационной линии. Сила на дислокацию, создаваемая напряжением. Реакции между дислокациями. Образование сетки. Равновесие изогнутого элемента дислокационной линии. Работа источника Франка-Рида. Задача об упругом взаимодействии параллельных краевых дислокаций. Напряжение, необходимое для прохождения одной дислокации над другой, а также для движения в среде с плотностью дислокаций  $\rho$ . Пересечение дислокаций. 5 Упрочнение металлов и сплавов Деформация монокристаллов и поликристаллов. Упрочнение границами зерна. Практические примеры измельчения зерна. Выражение сдвига через

дислокационные характеристики. Дислокационные механизмы упрочнения. Дифференциальное уравнение связи  $\sigma$  и  $\epsilon$  для пластической области. Интегрирование в простейших случаях. Практическая реализация деформационного упрочнения. Твердорастворное упрочнение. Теория Мота-Набарро для раствора замещения. Теория Флейшера для раствора внедрения. Теория прочности мартенсита. Распад пересыщенных твердых растворов. Механизм огибания и переползания дислокациями выделений второй фазы. Природа максимума прочности при старении. Дислокационные механизмы зарождения трещин. Общая формула для предела текучести сплавов. Оценки основных и дополнительных механизмов упрочнения. Принципы создания высокопрочных сплавов. Примеры: закалка и отпуск стали; сталь Гадфильда; нимоники; бериллиевая бронза и др

## 2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУНы)
ПК-9 готовностью проводить расчеты и делать выводы при решении инженерных задач	Знать:- методы математического анализа
	Уметь:использовать в профессиональной деятельности методы математического анализа
	Владеть:навыки инженерных расчётов и анализа полученных результатов
ОПК-1 готовностью использовать фундаментальные общеинженерные знания	Знать:- основы информационных технологий; - основные явления и законы химии, физики и физической химии;
	Уметь:- определять физико-механические свойства материалов при различных видах испытаний; - применять методы анализа и обработки экспериментальных данных, систематизировать научно-техническую информацию; - применять программное обеспечение для решения типовых задач производства
	Владеть:- методами компьютерной графики; - навыками работы с современными программными устройствами;
ПК-5 способностью выбирать и применять соответствующие методы моделирования физических, химических и технологических процессов	Знать:- природу химических реакций, используемых в металлургических производствах,
	Уметь:- осуществлять корректное математическое описание физических и химических явлений технологических процессов,
	Владеть:- методами компьютерной графики, методами анализа и численными методами, вычислительной техникой при решении прикладных задач в области профессиональной деятельности

## 3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин,	Перечень последующих дисциплин,
------------------------------------	---------------------------------

видов работ учебного плана	видов работ
Б.1.05.01 Алгебра и геометрия, Б.1.08.02 Инженерная графика, В.1.06.01 Неорганическая химия, Б.1.06 Физика	В.1.10.05 Термическая обработка металлов, В.1.10.04 Обработка металлов давлением, В.1.14 Основы теории и технологии разлики стали и сплавов

Требования к «входным» знаниям, умениям, навыкам студента, необходимым при освоении данной дисциплины и приобретенным в результате освоения предшествующих дисциплин:

Дисциплина	Требования
Б.1.08.02 Инженерная графика	Уметь строить графики, диаграммы
Б.1.05.01 Алгебра и геометрия	Понятия о векторах, уметь производить действия над ними
Б.1.06 Физика	Знать понятия прочность, твердость, диаграмму растяжения
В.1.06.01 Неорганическая химия	Знать виды связей, уметь находить молекулярную массу, знать таблицу Менделеева

#### 4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 з.е., 72 ч.

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		5	
Общая трудоёмкость дисциплины	72	72	
<i>Аудиторные занятия:</i>	32	32	
Лекции (Л)	16	16	
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	16	16	
Лабораторные работы (ЛР)	0	0	
<i>Самостоятельная работа (СРС)</i>	40	40	
Основы теории дислокаций	12	12	
Точечные дефекты решетки	28	28	
Вид итогового контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)	-		зачет

#### 5. Содержание дисциплины

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах			
		Всего	Л	ПЗ	ЛР
1	Разрушение твердых тел	8	4	4	0
2	Точечные дефекты решетки	10	4	6	0
3	Основы теории дислокаций	6	4	2	0
4	Упрочение металлов и сплавов	8	4	4	0

##### 5.1. Лекции

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1	1	Разрушение твердых тел	4
2	2	Точечные дефекты решетки	4
3	3	Основы теории дислокаций	4
4	4	Упрочение металлов и сплавов	4

## 5.2. Практические занятия, семинары

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во часов
1	1	Теоретическая прочность и теория Гриффитса. Расчеты теоретической прочности, прочности усов. Расчеты разрушающего напряжения в хрупких материалах, содержащих трещины.	2
2	1	Графическое изображение плоскостей, направлений в элементарной ячейке.	2
3	2	Диффузия. Оценки коэффициентов диффузии и самодиффузии. Простейшие диффузионные задачи. Цементация стали.	2
4	2	Вакансии. Оценки равновесной концентрации тепловых вакансий от температуры. Частоты перескоков вакансий и атомов.	2
5	2	Вакансии. Расчет частоты и амплитуды колебания атомов	2
6	3	Обзор свойств дислокаций. Работа источника Франка-Рида. Реакции между дислокациями	2
7	4	Дисперсионное упрочение. Оценки уровня прочности дисперсионно-твердеющих сплавов.	2
8	4	Твердорастворное упрочнение. Оценки уровня прочности твердых растворов различного типа и состава.	2

## 5.3. Лабораторные работы

Не предусмотрены

## 5.4. Самостоятельная работа студента

Выполнение СРС		
Вид работы и содержание задания	Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц)	Кол-во часов
Решение задач. Диффузия. Оценки коэффициентов диффузии и самодиффузии. Простейшие диффузионные задачи. Цементация стали.	Мирзаев Д.А. Физические основы прочности: Учебное пособие, Ч.1.- Челябинск: ЮУрГУ, 2000	12
Решение задач. Вакансии. Оценки равновесной концентрации тепловых вакансий от температуры. Частоты перескоков вакансий и атомов.	Мирзаев Д.А. Физические основы прочности: Учебное пособие, Ч.1.- Челябинск: ЮУрГУ, 2000.	8
Решение задач. Графическое изображение плоскостей, направлений в элементарной ячейке.	Мирзаев Д.А. Физические основы прочности: Учебное пособие, Ч.1.- Челябинск: ЮУрГУ, 2000.	8
Решение задач. Обзор свойств дислокаций. Работа источника Франка-Рида. Реакции между дислокациями	Мирзаев Д.А. Окишев К.Ю. Физические основы прочности: Учебное пособие. Ч.П.- Челябинск: ЮУрГУ, 2004	12

## 6. Инновационные образовательные технологии, используемые в учебном процессе

Инновационные формы учебных занятий	Вид работы (Л, ПЗ, ЛР)	Краткое описание	Кол-во ауд. часов
Дискуссия	Практические занятия и семинары	Коллективное обсуждение полученных результатов при решении задач	16

## Собственные инновационные способы и методы, используемые в образовательном процессе

Не предусмотрены

Использование результатов научных исследований, проводимых университетом, в рамках данной дисциплины: нет

## 7. Фонд оценочных средств (ФОС) для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

### 7.1. Паспорт фонда оценочных средств

Наименование разделов дисциплины	Контролируемая компетенция ЗУНЫ	Вид контроля (включая текущий)	№№ заданий
Разрушение твердых тел	ОПК-1 готовностью использовать фундаментальные общепрофессиональные знания	Тест	1
Основы теории дислокаций	ПК-9 готовностью проводить расчеты и делать выводы при решении инженерных задач	Контрольная работа	2
Все разделы	ПК-5 способностью выбирать и применять соответствующие методы моделирования физических, химических и технологических процессов	Зачет	3

### 7.2. Виды контроля, процедуры проведения, критерии оценивания

Вид контроля	Процедуры проведения и оценивания	Критерии оценивания
Тест	Тест проводится 20 минут, два варианта по 9 вопросов	Зачтено: 7-9 правильных ответов Не зачтено: 0-6 не правильных ответов
Контрольная работа	13 задач	Зачтено: 10-13 правильно решенных задач Не зачтено: 0-9 не правильно решенных задач
Зачет	5 вопросов на 2 часа. зачет проводится письменно	Зачтено: 3-5 правильно отвеченных вопроса Не зачтено: 0-2 правильно отвеченных вопроса

### 7.3. Типовые контрольные задания

Вид контроля	Типовые контрольные задания
--------------	-----------------------------

Тест	<p>Вариант №1</p> <p>На какой машине проводят испытания на растяжения?</p> <p>На копре</p> <p>Методом Бринелля</p> <p>На разрывной машине</p> <p>На какой оси записывается величина P?</p> <p>По оси OY</p> <p>По оси OX</p> <p>Какой буквой обозначается условное нормальное напряжение?</p> <p><math>\Delta</math></p> <p><math>\mu</math></p> <p><math>\sigma</math></p> <p>S</p> <p>По какой формуле определяется относительное удлинение?</p> <p><math>\delta = l_k - l_0 / l_0 \cdot 100\%</math></p> <p><math>\tau = l_k - l_0 / l_0 \cdot 100\%</math></p> <p><math>\psi = F_0 - F_k / F_0 \cdot 100\%</math></p> <p>По какой формуле определяется частота колебаний?</p> <p><math>\nu = 1 / 2\pi \sqrt{(E \cdot a) / m}</math></p> <p><math>\nu = 1 / \pi \sqrt{(E \cdot a) / m}</math></p> <p><math>\nu = 1 / 2\pi \sqrt{(E \cdot a) / m}</math></p> <p><math>\nu = \sqrt{(E \cdot a) / m}</math></p> <p>Какой буквой обозначается модуль нормальной упругости?</p> <p><math>\sigma</math></p> <p><math>\lambda</math></p> <p><math>\mu</math></p> <p>E</p> <p>По какой формуле определяется амплитуда колебаний?</p> <p><math>A = \sqrt{(2kT / m)}</math></p> <p><math>A = \sqrt{(2kT / (\omega^2 m))}</math></p> <p><math>A = \sqrt{(kT / (\omega^2 m))}</math></p> <p><math>A = \sqrt{(2kT / \omega^2)}</math></p> <p>Формула теоретической прочности на отрыв?</p> <p><math>\sigma_m = \sqrt{(a / E\gamma)}</math></p> <p><math>\sigma_m = \sqrt{(E\gamma / a)}</math></p> <p><math>\delta = \sqrt{(E\gamma / a)}</math></p> <p><math>\sigma_m = \sqrt{(E\gamma / \delta)}</math></p> <p>Для каких материалов используется теория Гриффитса?</p> <p>Для любых</p> <p>Для хрупких</p> <p>Для вязких</p> <p>Практическая №1.docx</p>
Контрольная работа	Номера заданий на контрольную работу.docx
Зачет	<p>Вопросы на зачет</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Диаграмма растяжения. Упругая и пластическая деформация. Роль касательных и нормальных напряжений.</li> <li>2. Механические свойства. Образование шейки. Скольжение как основной механизм деформации. Понятие о критическом касательном напряжении</li> <li>3. Химическая связь; виды.</li> <li>4. Потенциал притяжения и отталкивания. Зависимость потенциальной энергии от расстояния. Равновесие.</li> <li>5. Силы межатомного взаимодействия при малых и больших взаимных смещениях, Колебания атомов. Энергия колебаний.</li> <li>6. Распределение осцилляторов по энергиям. Флюктуации. Равновесие сил на атом при растяжении. Теоретическая прочность на разрыв. Сравнение с опытом.</li> </ol>

7. Причина расхождения реальной и теоретической прочности. Опыт Иоффе и Гриффитса.

8. Энергетика роста хрупкой трещины. Теория роста Гриффитса. Роль внешней среды.

9. Обнаружение Орованом зоны пластической деформации у поверхности трещины; понятие удельной работы пластической деформации. Иной вывод формулы Орована.

10. Схемы Иоффе и Фридмана для температурного порога хладноломкости. Хрупкий и вязкий изломы.

11. Камневидный излом стали; явление красноломкости меди и ее сплавов; изломы, обусловленные выделением хрупких фаз. Хрупкость тугоплавких металлов. Отпускная хрупкость закаленной стали.

12. Поля напряжений и деформации около вершины трещины. Энергетический силовой критерий роста. Критический коэффициент интенсивности напряжений  $K_{Ic}$ . Поправки к теории Ирвина. Методы измерения  $K_{Ic}$ . Решение простейших задач на трещиностойкость.

13. Точечные дефекты, искажения решётки, энергия образования.

14. Механизмы образования точечных дефектов по Френкелю и Шоттки.

15. Термодинамика образования точечных дефектов.

16. Сверхравновесные дефекты при заливке, облучении, пластической деформации. Отжиг дефектов.

17. Частота перескоков вакансий и атомов, уравнения диффузии. Коэффициенты диффузии атомов и вакансий. Влияние напряжений на долю вакантных узлов.

18. Вакансионная и другие виды ползучести, рост пор и разрушение при ползучести.

19. Спекание порошков.

20. Сила на дислокацию, создаваемая напряжением. Реакции между дислокациями. Образование сетки. Равновесие изогнутого элемента дислокационной линии. Работа источника Франка-Рида.

21. Задача об упругом взаимодействии параллельных краевых дислокаций. Напряжение, необходимое для прохождения одной дислокации над другой, а также для движения в среде с плотностью дислокаций  $\rho$ . Пересечение дислокаций.

22. Деформация монокристаллов и поликристаллов. Упрочение границами зерна. Практические примеры измельчения зерна.

23. Выражение сдвига через дислокационные характеристики. Дислокационные механизмы упрочения.

24. Дифференциальное уравнение связи  $\sigma$  и  $\epsilon$  для пластической области. Интегрирование в простейших случаях. Практическая реализация деформационного упрочения.

25. Твердорастворное упрочение. Теория Мота-Набарро для раствора замещения. Теория Флейшера для раствора внедрения. Теория прочности мартенсита.

26. Распад пересыщенных твердых растворов. Механизм огибания и переползания дислокациями выделений второй фазы. Природа максимума прочности при старении.

27. Дислокационные механизмы зарождения трещин.

28. Общая формула для предела текучести сплавов.

29. Оценки основных и дополнительных механизмов упрочения. Принципы создания высокопрочных сплавов.

30. Примеры: закалка и отпуск стали; сталь Гадфильда; нимоники; бериллиевая бронза и др.

Вопросы на зачет по физическим основам прочности.docx

## 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### Печатная учебно-методическая документация

а) основная литература:



1. Мирзаев, Д. А. Физические основы прочности Ч. 1 Учеб. пособие Д. А. Мирзаев; Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Физ. металловедение и физика твердого тела; Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Физ. металловедение и физика твердого тела ; ЮУрГУ. - Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2000. - 141,[1] с. ил.

2. Мирзаев, Д. А. Физические основы прочности Ч. 2 Учеб. пособие Д. А. Мирзаев, К. Ю. Окишев; Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Физ. металловедение и физика твердого тела; Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Физ. металловедение и физика твердого тела; ЮУрГУ. - Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2004. - 131, [1] с. ил.

*б) дополнительная литература:*

Не предусмотрена

*в) отечественные и зарубежные журналы по дисциплине, имеющиеся в библиотеке:*

*г) методические указания для студентов по освоению дисциплины:*

1. Окишев, К. Ю. Кристаллохимия и дефекты кристаллического строения Текст учеб. пособие К. Ю. Окишев ; Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Физ. металловедение и физика твердого тела ; ЮУрГУ. - Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2007. - 96, [1] с. электронная версия

*из них: учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента:*

2. Окишев, К. Ю. Кристаллохимия и дефекты кристаллического строения Текст учеб. пособие К. Ю. Окишев ; Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Физ. металловедение и физика твердого тела ; ЮУрГУ. - Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2007. - 96, [1] с. электронная версия

### **Электронная учебно-методическая документация**

Нет

### **9. Информационные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса**

Перечень используемого программного обеспечения:

1. Microsoft-Windows(бессрочно)

Перечень используемых информационных справочных систем:

Нет

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

Вид занятий	№ ауд.	Основное оборудование, стенды, макеты, компьютерная техника, предустановленное программное обеспечение, используемое для различных видов занятий
-------------	--------	--

Лекции	ДОТ (ДОТ)	Компьютерная техника
--------	--------------	----------------------