

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
материаловедения и индустрии наносистем
Академик РАН


В.М. Иевлев
подпись, расшифровка подписи

16.05.2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

**Б1.В.ДВ.02.01 Методы исследования механических свойств
материалов**

Код и наименование дисциплины в соответствии с Учебным планом

- 1. Шифр и наименование направления подготовки/специальности:**
04.04.02 – Химия, физика и механика материалов
- 2. Профиль подготовки/специализации:** Химия, физика и механика новых функциональных материалов и наноматериалов
- 3. Квалификация (степень) выпускника:** магистр
- 4. Форма образования:** очная
- 5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:**
Материаловедения и индустрии наносистем
- 6. Составители программы:**
Донцов Алексей Игоревич, к.ф.-м.н., доц.
- 7. Рекомендована:** научно-методическим советом химического факультета,
протокол № 10-03 от 27.03.2025
- 8. Учебный год:** 2026 / 2027 **Семестр(-ы):** 3

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Задача настоящего курса состоит в овладении основными принципами, моделями и математическим аппаратом, лежащими в основе описания механических аспектов динамики физических систем, а также овладение теоретическими и практическими методами расчётов на прочность, жёсткость и устойчивость.

10. Место учебной дисциплины в структуре ОПОП: (цикл, к которому относится дисциплина, требования к входным знаниям, умениям и компетенциям, дисциплины, для которых данная дисциплина является предшествующей)

блок Б1, часть, формируемая участниками образовательных отношений.

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников):

а) профессиональные ПК-2.1, ПК-2.2 ПК-3.1, ПК-3.2

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-3	Способен овладеть в профессиональной деятельности основными типовыми методами синтеза и анализа веществ, элементного и фазового состава, структуры и свойств материалов (включая наноматериалы)	ПК-3.1	Способен использовать знания о составе, структуре и свойствах материалов для решения задач материаловедения	знать: основные принципы, параметры и методы проведения механических испытаний (прочность, твердость, жесткость, вязкость разрушения, устойчивость) уметь: использовать знания для выбора образцов, а также параметров и методов измерений механических свойств (прочность, твердость, жесткость, вязкость разрушения, устойчивость) владеть: теоретическими и практическими методами расчётов на прочность, твердость, жесткость, вязкость разрушения и устойчивость
		ПК-3.2	Владеет основными методами синтеза и анализа веществ	знать: основные принципы, параметры и методы проведения механических испытаний уметь: использовать знания для выбора образцов, а также параметров и методов измерений механических свойств (прочность, твердость, жесткость, вязкость разрушения, устойчивость) владеть: теоретическими и практическими методами расчётов на прочность, твердость, жесткость, вязкость

				разрушения и устойчивость
ПК-2	Способен выбирать метод научного исследования, исходя из конкретных задач, и анализировать результаты с использованием современных методов обработки данных, оформлять полученные результаты в виде отчета, научной публикации или доклада	ПК-2.1	Анализирует результаты исследования с использованием современных методов обработки данных	знать современные достижения в области проведения исследований уметь обосновывать актуальность и новизну проводимых исследований владеть современными методами поиска, анализа и накопления информации
		ПК-2.2.	Умеет оформлять результаты в виде отчета и научной публикации и выступать с научным докладом	знать виды представления научных результатов и устных выступлений; понимать общее содержание научных текстов по физике, химии и механике материалов уметь подбирать литературу по теме, переводить и реферировать специальную литературу в области материаловедения, готовить научные доклады и презентации на базе освоенной специальной литературы, объяснить свою точку зрения и рассказать о своих планах владеть навыками обсуждения собственной темы исследования, создания научного текста по интересующим темам; адаптации текста для целевой аудитории.

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах в соответствии с учебным планом — 3 / 108.

12.1 Форма промежуточной аттестации – зачет

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость			
	Всего	По семестрам		
		'''	3 семестр	...
Контактная работа	36		36	

в том числе:	лекции	18		18	
	практические	18		18	
	лабораторные				
	курсовая работа				
Самостоятельная работа		72		72	
Промежуточная аттестация (для экзамена)					
Итого:		108		108	

13.1 Содержание разделов дисциплины:

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
1. Лекции			
1.1	Пластическая деформация моно- и поликристаллов	Деформация кристаллов с ГЦК решеткой. Деформация кристаллов с ОЦК решеткой. Деформация кристаллов с ГПУ решеткой. Теории деформационного упрочнения. Локальность деформаций в поликристаллах. Влияние величины зерна на пластичность поликристаллов. Роль двойникования в процессе пластической деформации поликристаллов.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=11982
1.2	Разрушение	Феноменологическая теория хрупкого разрушения. Дислокационные модели процесса разрушения. Переход от хрупкого разрушения к вязкому. Вязкое разрушение. Влияние различных факторов на характер вязкого разрушения. Критерии пластического разрушения.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=11982
1.3	Деформация и ползучесть	Деформация, определение ползучести. Зависимость деформации ползучести от времени, кривая ползучести. Зависимость скорости ползучести от температуры и приложенного напряжения. Дислокационная ползучесть чистых металлов, ползучесть твердых растворов.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=11982
2. Практические занятия			
2.1	Пластическая деформация моно- и поликристаллов	Выбор параметров и методов испытаний на прочность, твердость и жесткость. Выбор образцов для измерений прочности, твердости и жесткости.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=11982
2.2	Разрушение	Применение механики разрушения. Выбор параметров и методов испытаний на вязкость разрушения. Выбор образцов для измерений вязкости разрушения.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=11982
2.3	Деформация и ползучесть	Методы испытаний. Применение критериев выбора. Выбор параметров и методов испытаний на ползучесть и устойчивость.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=11982

13.2 Разделы дисциплины и виды занятий:

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Пластическая деформация моно- и поликристаллов	6	6		24	36
2	Разрушение	6	6		24	36
3	Деформация и ползучесть	6	6		24	36
Итого:		18	18		72	108

13.3 Междисциплинарные связи с другими дисциплинами:

№ п/п	Наименование дисциплин учебного плана, с которым организована взаимосвязь дисциплины рабочей программы	№ № разделов дисциплины рабочей программы, связанных с указанными дисциплинами
1		
2		

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Организация изучения дисциплины предполагает:

- изучение основных и дополнительных литературных источников;
- выполнение практического задания;
- текущий контроль успеваемости в форме тестового контроля и устного опроса по основным разделам дисциплины.

Самостоятельная работа с использованием ЭУМК
<https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=11982>

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины (список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)

основная литература:

№ п/п	Источник
1	Диевский В.А. Теоретическая механика. / В.А. Диевский – СПб. : «Лань», 2009.-230 с.
2	Поляхов Н.Н. Теоретическая механика. / Н.Н. Поляхов, С.А. Зегжда, М.П. Юшков – Под ред. П.Е. Товстика. М. : Высш. шк., 2000.-279 с.
3	Павлов П.В. Физика твердого тела. / П. В. Павлов, А. Ф. Хохлов .— 3-е изд., стер. — М. : Высш. шк., 2000. – 493 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
5	Ландау Л.Д. Теоретическая физика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М. : Физматлит, 2001.- Т.1: Механика. – 216 С.
6	Бахвалов Н.С. Численные методы в задачах и упражнениях. / Н.С. Бахвалов, А.В. Лапин, Е.В. Чижонков – М. : Высш. шк., 2000. – 190 с.
7	Ольховский И.И. Задачи по теоретической механике для физиков. / И.И. Ольховский, Ю.Г. Павленко, Л.С. Кузьменков – М. : Изд-во Моск.ун-та, 1977. – 395 с.
8	Павленко Ю.Г. Лекции по теоретической механике. / Ю.Г. Павленко – М. : Изд. Моск. ун-та, 1991. – 336 с.

9	Павленко Ю.Г. Задачи по теоретической механике. / Ю.Г. Павленко – М. : Изд. Моск. ун-та, 1988. – 343 с.
10	Мак Лин, Д. Механические свойства металлов / Д. Мак Лин ; пер. с англ. Л.И. Миркина; под ред. Я.Б. Фридмана. — М. : Металлургия, 1965. — 431 с.
11	Мороз Л. С., Механика и физика деформаций и разрушения материалов / Л. С. Мороз. — Л. : Машиностроение : Ленингр. отд-ние, 1984. — 224 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)*:

№ п/п	Ресурс
1.	http://www.elibrary.ru – Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU - крупнейший российский информационный портал в области науки, технологии, медицины и образования, содержащий рефераты и полные тексты более 12 млн. научных статей и публикаций. На платформе eLIBRARY.RU доступны электронные версии более 1400 российских научно-технических журналов, в том числе более 500 журналов в открытом доступе.
2.	Chemnet - официальное электронное издание Химического факультета МГУ в Internet, http://www.chem.msu.ru/rus/
3.	— «Университетская библиотека online»

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
1	Миркин Л. И. Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов / Л.И. Миркин ; Под. ред. Я. С. Уманского. — М. : Физматлит, 1961. — 864 с
2	Таблицы физических величин : Справочник / под ред. И.К. Кикоина. — М. : Атомиздат, 1976. — 1005,[1] с.

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение:

ЭУМК <https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=11982>

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

мультимедийный проектор BENQ, экран, ноутбук

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Пластическая деформация моно- и поликристаллов	ПК-2 ПК-3	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-3.1, ПК-3.2	Устный опрос
2.	Разрушение	ПК-2 ПК-3	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-3.1, ПК-3.2	Устный опрос, тестирование

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
3	Деформация и ползучесть	ПК-2 ПК-3	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-3.1, ПК-3.2	Устный опрос
Промежуточная аттестация форма контроля – зачет				КИМ

20. Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в форме: устного опроса (индивидуальный опрос). Критерии оценивания приведены выше.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний и практическое задание, позволяющее оценить степень сформированности умений и навыков.

При оценивании используются качественные шкалы оценок. Критерии оценивания приведены в п. 20.4.

20.1 Текущая аттестация

Комплект тестов №1

- В чем отличие образцов Менаже от образцов Шарпи.
 - В форме и размерах испытываемого образца
 - В применении к материалам с различной прочностью и вязкостью (для более прочных Менаже, для менее прочных – Шарпи)
 - В форме надреза образца
 - В площади поперечного сечения и направлении прикладываемой нагрузки
 - Ответы А-Г верны
 - Верного ответа нет.
- Поправка на наличие зоны пластического течения вычисляется по следующей формуле 1.4:

А) $\sigma = (2ET / \pi d)^{1/2}$

Г) $r_y / l = 2\pi \cdot (K / \sigma_{0.2})^2$

Б) $r_y = (1 / 2\pi) \cdot (K / \sigma_{0.2})^2$

Д) $K = \lim(1 / 2) \cdot \sigma_m (\pi \varphi)^{1/2}$

В) $K = \sigma \sqrt{l\pi}$

Е) Верного ответа нет.
- Чем объясняется интенсификация разрушения при увеличении размеров образца
 - Тем что скорость подвода энергии извне может быть меньше скорости ее подвода из упругонапряженного образца
 - Увеличением приложенных напряжений в следствие увеличения толщины образца
 - В увеличении вероятности образования большого количества трещин

- Г) Несоблюдением критерия Гриффитса для образцов большого сечения
- Д) Ответы А-Г верны
- Е) Верного ответа нет.

4. От чего зависит коэффициент интенсивности напряжений K .

- А) От модуля нормальной упругости
- Б) От расстояния между осью нагружения и вершиной трещины
- В) От приложенных напряжений и геометрии трещины
- Г) От критического значения интенсивности освобождения энергии в точке перехода к неустойчивому разрушению
- Д) Ответы А-Г верны
- Е) Верного ответа нет.

5. Критическое значение интенсивности освобождения энергии с ростом трещины определяют как

- А) Отношение модуля нормальной упругости к изменению базовой длины в образце
- Б) Максимальное значение сопротивления материала разрушению в вершине трещины
- В) Критическое значение коэффициента интенсивности напряжений в упругом поле напряжений
- Г) Предел текучести при одноосном растяжении
- Д) Ответы А-Г верны
- Е) Верного ответа нет.

6. На какие категории можно разделить поле напряжений возле кончика трещины

- А) Поперечное скольжение, продольное скольжение
- Б) Простой сдвиг, всесторонне сжатие, однородная форма
- В) Краевое расщепление, винтовой сдвиг, планарный сдвиг
- Г) Открытая форма, поперечный сдвиг, продольный сдвиг
- Д) Ответы А-Г верны
- Е) Верного ответа нет.

7. Гипотеза Краффта

- А) Нагрузка в процессе испытания не является независимой переменной
- Б) Сопротивление развитию трещины не зависит от величины прироста трещины
- В) Интенсивность освобождения энергии с ростом трещины пропорциональна исходной длине трещины
- Г) Форма трещины и форма фронта трещины изменяются пропорционально растягивающим напряжениям.
- Д) Ответы А-Г верны
- Е) Верного ответа нет.

8. Что характеризуют коэффициенты интенсивности напряжений

- А) Характеризуют интенсивность освобождения энергии с ростом трещины
- Б) Характеризуют сопротивление материала разрушению (цифра I характеризует распространение трещины путем отрыва, при отсутствии индекса тип не оговаривается)
- В) Номинальное напряжение в вершине трещины
- Г) Интенсивность приложенной нагрузки с учетом поправочного члена на пластическую зону
- Д) Ответы А-Г верны

Е) Верного ответа нет.

9. Как влияет адиабатическое нагревание на процесс распространения трещины
- А) Усиливает локальную нестабильность трещины в следствие ослабления склонности деформационному упрочнению
 - Б) Стабилизирует трещину в следствие увеличения энергии дефекта упаковки
 - В) Влияет в зависимости от материала: при $K_{ад} > K$ усиливает нестабильность трещины, в противном случае стабилизирует
 - Г) Не оказывает существенного влияния на стабильность трещины, влияет только на величину модуля сдвига и всестороннего сжатия
 - Д) Ответы А-Г верны
 - Е) Верного ответа нет.
10. Каким условиям должны удовлетворять испытания на вязкость разрушения
- А) Размеры образца должны быть таковы, чтобы силу необходимую для распространения трещины можно было вычислить на любой стадии испытания
 - Б) Величина нагрузки в момент перехода к нестабильному разрушению поддается измерению с заданной точностью
 - В) Испытательный стенд должен позволять вычислять силу необходимую для распространения трещины на любой стадии испытания
 - Г) Размеры трещины в момент перехода к нестабильному разрушению поддаются измерению с заданной точностью
 - Д) Ответы А-Г верны
 - Е) Верного ответа нет.

20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

1. Упругие деформации при наличии дислокаций
2. Непрерывное распределение дислокаций
3. Системы скольжения дислокаций. Фактор Шмида.
4. Геометрия скольжения дислокаций для ОЦК кристаллов
5. Геометрия скольжения дислокаций для ГЦК и ГПУ кристаллов.
6. Геометрическое упрочнение/разупрочнение.
7. Кривые деформации. Деформационное упрочнение.
8. Скольжение дислокаций по средством перегибов.
9. Переползание дислокаций по средством перегибов.
10. Движение дислокаций с помощью парных перегибов
11. Двойникование. Плоскости двойникования. Деформационные двойники.
12. Кристаллография двойникования.
13. Двойникование и его геометрия в металлах с ОЦК решеткой.
14. Двойникование и его геометрия в металлах с ГЦК решеткой.
15. Двойникование и его геометрия в металлах с ГПУ решеткой.
16. Дислокационный механизм двойникования
17. Взаимодействие двойников с другими дефектами
18. Аналогия между поверхностной энергией и пластической работой
19. Истолкование вязкости разрушения.
20. Влияние пластичности и ее анализ
21. Напряженное состояние у кончика трещины в изотропных упругих телах
22. Анализ размерностей в целях определения коэффициентов интенсивности напряжений
23. Краевые трещины в полубесконечных телах

24. термические напряжения.
25. Методы испытания на вязкость разрушения. Двухмерная модель образца. Критерий неустойчивости разрушения.
26. Сопротивление развитию трещины при возникновении неустойчивости.
27. Реальные трещины в образцах конечной толщины
28. Движущиеся трещины
29. Неустойчивость границ трещин
30. Влияние скорости деформации на движение трещины
31. Влияние температуры и скорости нагружения на величину K_{Ic}
32. Влияние адиабатического нагрева на движение трещины.

Практические задания

1. Определить деформацию длинного стержня (длины L), стоящего вертикально в поле тяжести.
2. Определить деформацию полого шара (наружный и внутренний радиусы R_2 и R_1), внутри которого действует p_1 ; давление снаружи p_2 .
3. Определить деформацию сплошной сферы (радиуса R) под влиянием собственного гравитационного поля.
4. Определить деформацию полой цилиндрической трубы (наружный и внутренний радиусы R_2 , R_1), внутри которой действует давление p ; давление снаружи отсутствует.
5. Определить деформацию цилиндра, равномерно вращающегося вокруг своей оси.
6. Определить деформацию неравномерно нагретого шара со сферически симметричным распределением температуры.
7. Определить деформацию неравномерно нагретого цилиндра с аксиально-симметричным распределением температуры.
8. Вывести уравнение равновесия изотропного тела (при отсутствии объемных сил), выраженные через компоненты тензора напряжений
9. Выразить напряжения $\sigma_{\varphi\varphi}$, σ_{rr} , $\sigma_{\varphi r}$ при плоской деформации (в полярных координатах r , φ) в виде производных от функций напряжений.
10. Определить деформацию круглой пластинки (радиуса R) с заделанными краями, расположенной горизонтально в поле тяжести.
11. Определить деформацию круглой пластинки с заделанными краями, к центру которой приложена сила f .

Описание технологии проведения.

После получения студентом билета КИМ и бланка листа ответа, самостоятельно выполняются задания КИМ в письменной форме. Время подготовки 40 минут.

Требования к выполнению заданий, шкалы и критерии оценивания.

Для оценивания результатов обучения на экзамене используются следующие показатели:

- 1) знание основных уравнений теории упругости, механизмов пластической деформации, факторов влияющих на пластичность, вязкость разрушения и ползучесть;
- 2) основные принципы, параметры и методы проведения механических испытаний;
- 3) умение использовать знания для описания процессов деформации в твердых телах;
- 4) умение использовать знания для выбора образцов, а также параметров и методов измерений механических свойств;
- 5) владение теоретическими и практическими методами расчётов на прочность, твердость, жесткость, вязкость разрушения и устойчивость..

Для оценивания результатов обучения на зачете используется 2-балльная шкала: «зачтено», «не зачтено».

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Полные и развёрнутые ответы на вопросы билета, возможны некоторые неточности, в целом не влияющие на содержание ответа.	Пороговый уровень	Зачтено
отсутствие основных знаний по разделам дисциплины, отсутствие ответов на вопросы билета	–	Не зачтено

20.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в форме устного опроса и тестирования. Критерии оценивания приведены выше.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний.

При оценивании используются количественные шкалы оценок. Критерии оценивания приведены выше.