

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

23.05.2023 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### Б1.В.05 Механические свойства материалов

1. Код и наименование направления подготовки/специальности: 04.03.02 Химия, физика и механика материалов
2. Профиль подготовки/специализация: материаловедение и индустрия наносистем
3. Квалификация выпускника: бакалавр
4. Форма обучения: очная
5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: кафедра материаловедения и индустрии наносистем
6. Составители программы: Донцов Алексей Игоревич, кандидат физико-математических наук
7. Рекомендована: научно-методическим советом химического факультета, протокол №4 от 25.04.2023  

---

*отметки о продлении вносятся вручную)*

---
8. Учебный год: 2024/2025, 2025/2026

Семестр(ы): 4,5

## **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 ООП:**

Б1. Часть, формируемая участниками образовательных отношений.

## **11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:**

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-2	Способен использовать знания о методах синтеза и свойствах материалов различного назначения, в том числе наноматериалов, для решения профессиональных задач	ПК-2.1.	Способен выбирать методы синтеза материалов различного назначения (в том числе наноматериалов) в соответствии с поставленной задачей	<b>знать:</b> основные принципы, параметры и методы проведения механических испытаний (прочность, твердость, жесткость, вязкость разрушения, устойчивость) <b>уметь:</b> использовать знания для выбора образцов, а также параметров и методов измерений механических свойств (прочность, твердость, жесткость, вязкость разрушения, устойчивость) <b>владеть:</b> теоретическими и практическими методами расчётов на прочность, твердость, жесткость, вязкость разрушения и устойчивость.
			ПК-2.2.	<b>знать:</b> основные уравнение теории упругости; закон Гука; иметь целостное представление об упругой деформации в кристаллах; механизмы пластической деформации; факторы влияющие на пластичность моно- и поликристаллов; факторы влияющие на вязкое разрушение; критерии пластического разрушения; факторы влияющие на ползучесть. <b>уметь:</b> использовать знания для описания процессов деформации в твердых телах <b>владеть:</b> математическим аппаратом для описания механических аспектов динамики физических систем
ПК-5	Способен выбирать технические средства и методы испытаний материалов для решения технологических задач, поставленных специалистом более высокой квалификации	ПК-5.1	Выбирает технические средства и методы испытаний	<b>знат:</b> возможности методов и принцип работы технических средств проведения механических испытаний; <b>уметь:</b> применять методы и выбирать технические средства для проведения механических испытаний; <b>владеть:</b> навыками использования технических средств и методов механических испытания
			ПК-5.2	<b>знат:</b> основные требования к подготовке образцов к испытаниям согласно ГОСТам; <b>уметь:</b> выбирать оборудование для проведения испытаний; <b>владеть:</b> навыками подготовки

			наноматериалов к испытаниям на соответствующем оборудовании
	ПК-5.3	Оформляет необходимую документацию в соответствии с имеющимися требованиями	знать: основные требования к оформлению документации по итогам испытаний; уметь: подготавливать документацию по итогам испытаний; владеть: навыками оформления документации по итогам проведенных испытаний;

## 12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час — 9/324

Форма промежуточной аттестации – зачет, экзамен, курсовая работа.

## 13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость			
	Всего	По семестрам		
		4	5	...
Контактная работа	126	72		
в том числе:	лекции	90	54	36
	практические	90	54	36
	лабораторные			
	курсовая работа			
	Групповые консультации	18	18	
Самостоятельная работа	90	18	72	
Промежуточная аттестация	36		36	
Итого:	324	144	180	

### 13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
<b>1. Лекции</b>			
1.1	Введение. Тензорное исчисление.	Место механики в системе естественных наук, в системе технических наук, в практике. Иерархическая структура механики как научной отрасли. Основные этапы становления механики как точной науки. Понятие тензора, свойства, действия над тензорами .	Использование ЭУМК <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2196">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2196</a>
1.2	Основные уравнения теории упругости	Тензор деформации, тензор напряжений. Термодинамика деформирования. Закон Гука. Однородные деформации, деформации с изменением температуры. Уравнение равновесия изотропных тел. Упругие свойства кристаллов.	Использование ЭУМК <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2196">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2196</a>
1.3	Равновесие стержней и пластинок	Энергия изогнутой пластинки. Уравнение равновесия пластинки. Кручение стержней, изгиб стержней.	Использование ЭУМК <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2196">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2196</a>
1.4	Упругие волны	Упругие волны в изотропной среде. Упругие волны в кристаллах. Ангармонические колебания.	Использование ЭУМК <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2196">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2196</a>
1.5	Механизмы пластической деформации	Деформация скольжением. Деформация двойникованием. Сдвиговые механизмы пластической деформации, связанные с	Использование ЭУМК <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2196">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2196</a>

		внутрикристаллической переориентировкой. Механизмы диффузионной пластичности. Механизмы зернограничной пластической деформации.	
1.6	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.	Использование ЭУМК <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2196">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2196</a>
1.7	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.	Использование ЭУМК <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2196">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2196</a>
1.8	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.	Использование ЭУМК <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2196">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2196</a>
<b>2. Практические занятия</b>			
2.1	Тензорное исчисление.	Действия над тензорами: сложение, умножение, свертывание.	Использование ЭУМК <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2196">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2196</a>
2.2	Основные уравнения теории упругости	Решение задач по определению деформации тел различной формы при различных условиях деформирования.	Использование ЭУМК <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2196">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2196</a>
2.3	Равновесие стержней и пластинок	Вывод уравнений равновесия для изотропного тела через компоненты тензора напряжений. Определение распределения напряжений в неограниченной упругой среде.	Использование ЭУМК <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2196">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2196</a>
2.4	Упругие волны	Решение задач по теме: «упругие волны в изотропных средах»	Использование ЭУМК <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2196">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2196</a>
2.5	Механизмы пластической деформации	Решение задач по темам: «геометрическое упрочнение и разупрочнение» и «деформационное упрочнение»	Использование ЭУМК <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2196">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2196</a>
2.6	Пластическая деформация моно- и поликристаллов	Выбор параметров и методов испытаний на прочность, твердость и жесткость. Выбор образцов для измерений прочности, твердости и жесткости.	Использование ЭУМК <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2196">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2196</a>
2.7	Разрушение	Применение механики разрушения. Выбор параметров и методов испытаний на вязкость разрушения. Выбор образцов для измерений вязкости разрушения.	Использование ЭУМК <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2196">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2196</a>
2.8	Деформация и ползучесть	Методы испытаний. Применение критериев выбора. Выбор параметров и методов испытаний на ползучесть и устойчивость.	Использование ЭУМК <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2196">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2196</a>

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Введение. Тензорное исчисление.	2	6		6	14
2	Основные уравнения теории	12	16		12	40

	упругости					
3	Равновесие стержней и пластинок	10	18		12	40
4	Упругие волны	8	6		12	26
5	Механизмы пластической деформации	10	12		12	34
6	Пластическая деформация моно- и поликристаллов	10	12		12	34
7	Разрушение	23	8		12	43
8	Деформация и ползучесть	15	12		12	39
	Итого:	90	90		90	324

#### 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.

Использование ЭУМК <https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2196>

#### 15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

№ 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.	<a href="http://www.elibrary.ru">http://www.elibrary.ru</a> – 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, <a href="http://www.chem.msu.ru/rus/">http://www.chem.msu.ru/rus/</a>

3.	Образовательный ресурс по материаловедению –
	<a href="http://www.materialscience.ru/lectures.htm">http://www.materialscience.ru/lectures.htm</a>

## 16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник

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

Проведение текущей аттестации и самостоятельной работы по отдельным разделам дисциплины. Использование ЭУМК <https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2196>

## 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	Введение. Тензорное исчисление.	ПК-2	ПК-2.1 ПК-2.2	Устный опрос, Комплект тестов №1
2	Основные уравнения теории упругости	ПК-2 ПК-5	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-5.1 ПК-5.2 ПК-5.3	Устный опрос, Комплект тестов №2
3	Равновесие стержней и пластинок	ПК-2 ПК-5	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-5.1 ПК-5.2 ПК-5.3	Устный опрос, Комплект тестов №3
4	Упругие волны	ПК-2 ПК-5	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-5.1 ПК-5.2 ПК-5.3	Устный опрос, Комплект тестов №4
5	Механизмы пластической деформации	ПК-2 ПК-5	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-5.1 ПК-5.2 ПК-5.3	Устный опрос, Комплект тестов №5
6	Пластическая деформация моно- и поликристаллов	ПК-2 ПК-5	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-5.1 ПК-5.2 ПК-5.3	Устный опрос
7	Разрушение	ПК-2	ПК-2.1	Устный опрос, Комплект тестов №6

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетен- ция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
		ПК-5	ПК-2.2 ПК-5.1 ПК-5.2 ПК-5.3	
8	Деформация и ползучесть	ПК-2 ПК-5	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-5.1 ПК-5.2 ПК-5.3	Устный опрос
Промежуточная аттестация форма контроля – зачет, экзамен				Комплект КИМ

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

### 20.1 Текущая аттестация

#### Комплект тестов №1

1 Суммой двух тензоров называется тензор:

- а)  $c_{i+j}^{p+q} = a_i^p + b_j^q$       б)  $c_{2i}^{2p} = a_i^p + b_i^p$       в)  $c_{ij}^{pq} = a_i^p + b_j^q$   
 г)  $c_i^p = a_i^p + b_i^p$       д)  $c_{ij}^{pk} = a_i^p + b_{ij}^{pk}$       е) верного ответа нет

2 Результатом свертывания тензора  $c_{ijk}^{pq}$  по индексам  $p$  и  $j$  называется:

- а) тензор  $c_{iuk}^{rq}$  с компонентами  $c_{iuk}^{rq} = c_{ijk}^{pq}$  ;      б) тензор  $c_j^p$  с компонентами  $c_j^p = c_{ijk}^{pq}$   
 в) тензор  $c_{ik}^q$  с компонентами  $c_{ik}^q = a_{irk}^{rq}$  ;      г) тензор  $c_{ik}^q$  с компонентами  $c_{ik}^q = c_{irk}^{rq}$   
 д) тензор  $c_u^r$  с компонентами  $c_u^r = c_j^p$  ;      е) верного ответа нет

3. Тензор деформации определяет:

- а) смещение точки тела при деформации  
 б) радиус-вектор точки в деформированном теле  
 в) изменение элемента длины при деформировании тела  
 г) относительное удлинение (сужение) тела  
 д) изменение объема тела при деформации  
 е) все ответы верны

4. Тензор  $c_{ij}$  называется кососимметрическим, если:

- а)  $c_{ij} = c_{ji}$       б)  $c_{ij} = -c_{ji}$       в)  $c_j = c_i$       г)  $c_i^j = c_{ji}$   
 д)  $c_{ij} = \sqrt{\frac{2}{5}} c_{ji}$       е) верного ответа нет

5. Приведение тензора  $u_{ik}$  к главным осям означает:

а) что в каждой данной точке можно выбрать такую систему координат, в которой тензор

$$u_{ik} = u_{ki}$$

б) что в каждой данной точке можно выбрать такую систему координат, в которой тензор

$$u_{ik} = -u_{ki}$$

в) что в каждой данной точке можно выбрать такую систему координат, в которой из всех компонент тензора отличны от нуля только компоненты  $u_{21}, u_{22}, u_{23}$

г) что в каждой данной точке можно выбрать такую систему координат, в которой из всех компонент тензора равны нулю компоненты  $u_{11}, u_{22}, u_{33}$

д) что в каждой данной точке можно выбрать такую систему координат, в которой из всех компонент тензора отличны от нуля только «диагональные» компоненты

е) все ответы верны

6. В случае равномерного всестороннего сжатия тензор напряжений равен:

а)  $\sigma_{ik} = -p\delta_{ik}$

б)  $\sigma_{ik} = \frac{1}{2V} \int (P_i x_k + P_k x_i) df$

в)  $\sigma_{ik} = \int (P_i x_k + P_k x_i) df$

г)  $\sigma_{ik} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_k} + \frac{\partial u_k}{\partial x_i} + \frac{\partial u_l}{\partial x_i} \frac{\partial u_l}{\partial x_k} \right)$

д)  $\sigma_{ik} = \int F_i dV$

е) верного ответа нет

7. Основное термодинамическое соотношение для деформируемых тел имеет вид

а)  $d\varepsilon = TdS + \sigma_{ik} du_{ik}$ ;

б)  $\Phi = \varepsilon - TS - \sigma_{ik} du_{ik}$

в)  $\Phi = F - \sigma_{ik} du_{ik}$

г)  $d\Phi = -SdT - \sigma_{ik} du_{ik}$

д)  $dF = -SdT + \sigma_{ik} du_{ik}$

е) все ответы верны

8. Градиент – это:

а) векторный оператор векторного поля, показывает насколько и в какую сторону закручено поле в каждой точке

б) характеристика, показывающая направление наискорейшего возрастания некоторой величины, значение которой меняется от одной точки пространства к другой

в) дифференциальный оператор, действующий в линейном пространстве гладких функций и обозначаемый символом *grad*

г) линейная комбинация подмногообразий одной размерности

д) дифференциальный оператор, преобразующий гармонические функции на плоскости

е) скалярный дифференциальный оператор векторного поля, который показывает, насколько поле имеет тенденцию расходиться из данной точки

9. Момент сил, действующих на некоторый объем тела, может быть записан в виде:

а)  $M_{ik} = \frac{1}{2V} \int (P_i x_k + P_k x_i) df$       б)  $M_{ik} = \int (F_i x_k - F_k x_i) dV$       в)  $M = \frac{\sigma_{ik} u_{ik}}{2}$

г)  $M_{ik} = \int (\sigma_{il} x_k - \sigma_{kl} x_i) df$

д)  $M_i = \sigma_{ik} n_k$

е) верного ответа нет

10. Внутренними напряжениями называются:

а) силы, стремящиеся вернуть тело в состояние равновесия при деформировании

б) силы, стремящиеся деформировать тело изнутри

в) напряжения, вызывающие деформацию

г) силы, возникающие в теле после деформирования

д) тензорные поля, снимающие остаточную деформацию

е) все ответы верны

## Комплект тестов №2

1. Оператор набла – это:

- а) оператор, отображающий каждый элемент пространства в себя
- б) вектор с компонентами  $\frac{\partial}{\partial x_1}, \frac{\partial}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial}{\partial x_n}$  в  $n$ -мерном пространстве
- в) величина, преобразующаяся как вектор при операциях поворота, но, в отличие от вектора, не меняющая свой знак при инверсии координат
- г) линейный оператор, отображающий векторное пространство  $L_K$  над полем  $K$  в векторное пространство  $M_K$
- д) векторный оператор векторного поля, показывает насколько и в какую сторону закручено поле в каждой точке
- е) все выше перечисленные утверждения верны

2. Коэффициентом Пуассона называется:

- а) отношение касательного напряжения к величине угла сдвига тела
- б) отношение модуля сдвига к модулю всестороннего сжатия
- в) отношение поперечного сжатия к продольному растяжению
- г) величина, связывающая тензор напряжения и тензор деформации
- д) величина, определяющая работу сил на проведение деформации
- е) полный дифференциал от функции напряжений

3. Какие деформации называются всесторонним сжатием?

- а) деформации с изменением объема, но без изменения формы.
- б) деформации, при которых тензор напряжения постоянен вдоль всего объема тела
- в) деформации, при которых модуль сдвига равен модулю всестороннего сжатия
- г) деформации при постоянной нагрузке со всех сторон
- д) деформация, при которой во всем теле одна из компонент вектора смещения равна нулю
- е) все выше перечисленные деформации являются всесторонним сжатием

4. Какие из данных утверждений верны для Закона Гука при малых деформациях:

- а) модуль сдвига пропорционален изменению объема тела
- б) изменение объема обратно пропорционально коэффициенту всестороннего сжатия
- в) тензор деформации является линейно функцией тензора напряжений
- г) внутренняя энергия тела при малых деформациях остается постоянной
- д) свободная энергия тела является квадратичной функцией приложенных сил
- е) все выше перечисленные утверждения не верны

5. Адиабатическими называются деформации:

- а) при которых не происходит изменения температуры тела
- б) если количество теплоты, переданное телу во время деформации, равно нулю
- в) при которых не учитывается коэффициент теплового расширения
- г) при которых не происходит обмена теплом между различными участками тела
- д) при которых энтропия принимает минимальное значение
- е) если работа, производимая силами внутренних напряжений во время деформации, равна нулю

6. Общий вид свободной энергии деформированного кристалла есть:

- а)  $F = \frac{\sigma_{ik} u_{ik}}{2}$
- б)  $dF = -SdT + \sigma_{ik} du_{ik}$
- в)  $F = \frac{1}{2} \lambda_{iklm} u_{ik} u_{lm}$
- г)  $P_i = \sigma_{ik} n_k$
- д)  $\sigma_{ik} = \int F_i dV$
- е) верного ответа нет

7. Независимыми величинами, характеризующими упругие свойства кристалла триклинной симметрии, будут:

8. Распространение каких волн связано с деформацией отдельных участков тела?

- а) плоских волн      б) упругих волн      в) поперечных волн  
г) стоячих волн      д) продольных волн      е) верного ответа нет

9. Почему при применении элементов симметрии кристалла некоторые компоненты тензора модулей упругости обращаются в нуль?

- а) в силу того, что тензор модулей упругости симметричен
  - б) так как компоненты тензора преобразуются как произведения соответствующих координат
  - в) из-за того, что соображения симметрии фиксируют выбор осей координат
  - г) так как при этом все характеризующие кристалл свойства должны оставаться неизменными
  - д) потому что изменение свободной энергии при изотермическом сжатии является квадратичной функцией тензора деформации
  - е) верного ответа нет

10. Какие из типов симметрии кристаллов имеют одинаковое количество упругих модулей:



## Комплект тестов №3

1. Какой механизм пластической деформации металлов и сплавов является основным  
А) Межзеренное проскальзывание;      Б) Внутризеренное сдвиговое перемещение;  
В) Скольжение;      Г) Двойникование;      Д) Верного ответа нет.
  2. При каких условиях внутризеренная и межзеренная пластическая деформация облегчена?  
А) При  $T \geq 0,5 T_{\text{пл}}$ ;      Б) При пластической деформации выше 70%;  
В) При максимальном значении фактора Шмида;  
Г) При рекристаллизации;      Д) Верного ответа Нет.
  3. Что такое система скольжения?  
А) Совокупность плотноупакованных плоскостей и направлений в кристалле;  
Б) Система, соответствующая наибольшему вектору Бюргерса дислокации;  
В) Совокупность плотноупакованных плоскостей и плоскостей дефекта упаковки;  
Г) Плоскость скольжения и направление скольжения, не лежащее в этой плоскости;  
Д) Верного ответа нет.
  4. По каким плоскостям и направлениям происходит пластическая деформация в металлах с ОЦК решеткой?  
А)  $\langle 110 \rangle \{112\}$ ;      Б)  $\langle 111 \rangle \{110\}$ ;      В)  $\langle 110 \rangle \{110\}, \{hkl\}$ ;  
Г)  $\{110\}, \{112\}, \{123\} \langle 111 \rangle$ ;      Д) Верного ответа нет.
  5. Каково общее число возможных систем скольжения в металлах с ОЦК решеткой?  
А) 48 систем;      Б) 12 систем;      В) 6 систем;  
Г) Зависит от соотношения с/а;      Д) Верного ответа нет
  6. Какое отношение с/а соответствует идеальность структуре в ГПУ решетках?  
А) 1,331;      Б) 1,633;      В) 2,121;      Г) 0,5;      Д) Верного ответа нет
  7. В каком случае деформация скольжением происходить не может?  
А) Когда Фактор Шмида  $m=0$ ;      Б) При участии диффузионных процессов;

## Комплект тестов №4

## Комплект тестов №5

1. Основные механизмы пластической деформации?

  - А) Скольжение, двойникование;
  - Б) Скольжение, двойникование, сбросообразование;
  - В) Скольжение, двойникование, переползание;

- Г) Скольжение, двойникование, сбросообразование, переползание;  
Д) Релаксация, образование ступенек и перегибов;  
Е) Все ответы НЕ верны.

2. Общее число возможных систем скольжения, которое может принимать участие в скольжении в ГЦК кристаллах?



3. Вдоль каких направлений идет скольжение дислокаций в ОЦК кристаллах?



4. Чем объясняется различие между кривыми  $\sigma$ – $\varepsilon$  при деформации растяжением случайно ориентированного кристалла?

- ориентированного кристалла:

  - А) Поворотом плоскости скольжения дислокаций в удобное для скольжения положение;
  - Б) Тем, что регистрация напряжений течения не лучший способ измерения напряжений в процессе скольжения;
  - В) Различием в ориентировке плоскостей и направлений скольжения по отношению к внешней нагрузке;
  - Г) Линейной зависимостью тензора напряжений от деформации;
  - Д) Тем, что приведенное напряжение сдвига увеличивается с ростом деформации;
  - Е) Все ответы **ВЕРНЫ**.

5. Чем определяется предел текучести монокристалла?

- А) Его ориентацией и фактором Шмида;
  - Б) Фактором Шмида;
  - В) Типом кристаллической решетки;
  - Г) Направлением приложенной нагрузки;
  - Д) Степенью предварительной деформации;
  - Е) Всеми вышеперечисленными факторами

## 6. В чем заключается явление геометрического разупрочнения?

- А) В увеличении числа дислокаций в направлении нагрузки;
  - Б) В повороте плоскости скольжения дислокаций в удобное для скольжения положение;
  - В) В изменении геометрии кристалла с ростом деформации;
  - Г) В увеличении приведенного напряжения сдвига с ростом деформации;
  - Д) В уменьшении приведенного напряжения сдвига с ростом деформации;
  - Е) Все ответы НЕ верны.

7. Общее число возможных систем скольжения, которое может принимать участие в скольжении в ОЦК кристаллах?



8. Наиболее плотноупакованными плоскостями в ОЦК кристаллах являются?



9. Общее число возможных систем скольжения, которое может принимать участие в скольжении в ГПУ кристаллах?

10. При каких условиях деформация скольжением в кристалле происходить не может?

- А) фактор Шмида равен нулю;
  - Б) ось растяжения параллельна плоскости скольжения;
  - В) ось растяжения нормальна к плоскости скольжения;
  - Г) направляющий косинус между осями различных систем скольжения равен нулю;
  - Д) касательные напряжения равны нулю;
  - Е) все ответы ВЕРНЫ.

## 11. В чём состоит явление деформационного упрочнения?

- А) В увеличении числа дислокаций в направлении нагрузки;
  - Б) В повороте плоскости скольжения дислокаций в удобное для скольжения положение;
  - В) В изменении геометрии кристалла с ростом деформации;
  - Г) В увеличении приведенного напряжения сдвига с ростом деформации;
  - Д) В уменьшении приведенного напряжения сдвига с ростом деформации;
  - Е) Все ответы ВЕРНЫ.

12. Какая плоскость в ОЦК кристаллах является главной плоскостью дефекта упаковки?



## Комплект тестов №6

1. В чем отличие образцов Менаже от образцов Шарпи.
    - А) В форме и размерах испытываемого образца
    - Б) В применении к материалам с различной прочностью и вязкостью (для более прочных Менаже, для менее прочных – Шарпи)
    - В) В форме надреза образца
    - Г) В площади поперечного сечения и направлении прикладываемой нагрузки
    - Д) Ответы А-Г верны
    - Е) Верного ответа нет.
  2. Поправка на наличие зоны пластического течения вычисляется по следующей формуле 1.4:
    - А)  $\sigma = (2ET / \pi d)^{1/2}$
    - Б)  $r_y = (1/2\pi) \cdot (K / \sigma_{0.2})^2$
    - В)  $K = \sigma \sqrt{l\pi}$
    - Г)  $r_y / l = 2\pi \cdot (K / \sigma_{0.2})^2$
    - Д)  $K = \lim(1/2) \cdot \sigma_m (\pi\rho)^{1/2}$
    - Е) Верного ответа нет.
  3. Чем объясняется интенсификация разрушения при увеличении размеров образца
    - А) Тем что скорость подвода энергии извне может быть меньше скорости ее подвода из упругонапряженного образца
    - Б) Увеличением приложенных напряжений в следствие увеличения толщины образца
    - В) 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 К.
    - 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 нестабильному 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:

### Темы курсовых работ

1. Расчет твердости и модуля Юнга образцов тонких пленок твердого раствора Pd-Cu
2. Расчет твердости и модуля Юнга образцов тонких пленок твердого раствора Pd-Pb
3. Расчет твердости и модуля Юнга образцов тонких пленок твердого раствора Pd-Ru
4. Расчет твердости и модуля Юнга образцов тонких пленок твердого раствора Ag-Cu
5. Расчет твердости и модуля Юнга образцов тонких пленок Cu
6. Расчет твердости и модуля Юнга кварца
7. Расчет твердости и модуля Юнга образцов тонких пленок твердого раствора Cu-Al
8. Расчет твердости и модуля Юнга образцов тонких пленок рутила
9. Расчет твердости и модуля Юнга образцов нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т
10. Расчет твердости и модуля Юнга диоксида кремния
11. Расчет твердости и модуля Юнга арсенида галлия
12. Расчет твердости и модуля Юнга образцов тонких пленок  $Al_2O_3$
13. Расчет твердости и модуля Юнга образцов тонких пленок ZrN
14. Расчет твердости и модуля Юнга образцов сплава ВТ-6
15. Расчет твердости и модуля Юнга образцов стали марки У-8
16. Расчет твердости и модуля Юнга образцов стали ХВГ
17. Расчет твердости и модуля Юнга образцов латуни марки Л60
18. Расчет твердости и модуля Юнга образцов бронзы БрО19

### Критерии и шкалы оценивания курсовых работ

Оценка	Критерии оценок
<b>Отлично</b>	Успешная защита выполненного исследования, умение мотивировать цель и задачи исследования, высокое качество представления, обсуждения и анализа экспериментальных данных; последовательное и логичное описание результатов исследования. Студент полно и правильно отвечает на дополнительные вопросы по теме исследования. Курсовая работа грамотно оформлена, имеет четкую структуру. Список использованной литературы насчитывает не менее 7 наименований и включает не только словари и учебники, но и научные монографии, статьи из журналов и сборников научных конференций.
<b>Хорошо</b>	Достаточно успешная защита выполненного исследования,

	умение мотивировать цель и задачи исследования, хорошее качество представления, обсуждения и анализа экспериментальных данных; последовательное и логичное описание результатов исследования. Студент правильно отвечает на дополнительные вопросы по теме исследования. Курсовая работа грамотно оформлена, имеет четкую структуру. Список использованной литературы насчитывает не менее 5 наименований и включает не только словари и учебники, но и научные монографии, статьи из журналов и сборников научных конференций.
<b>Удовлетворительно</b>	Удовлетворительная защита выполненного исследования, умение мотивировать цель и задачи исследования, удовлетворительное качество представления, обсуждения и анализа экспериментальных данных; последовательное и не всегда четкое описание результатов исследования. Студент правильно отвечает почти на все дополнительные вопросы по теме исследования. Курсовая работа достаточно грамотно оформлена (встречаются незначительные ошибки), имеет четкую структуру. Список использованной литературы насчитывает не менее 5 наименований и включает только словари и учебники.
<b>Неудовлетворительно</b>	Неудовлетворительная защита выполненного исследования; основная цель работы достигнута, но не реализованы все задачи исследования; не всегда последовательно и четко описаны результаты исследования, встречаются ошибки при анализе экспериментальных данных. Студент не может ответить на дополнительные вопросы по теме исследования. Курсовая работа оформлена неграмотно.

Вопросы к зачету:

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 нестабильности разрушения.
26. Сопротивление развитию трещины при возникновение нестабильности.
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 нагревания на движение трещины.

**Вопросы к экзамену:**

1. Понятие тензора. Действия над тензорами.
2. Тензор деформации
3. Тензор деформации в случае малых деформаций
4. Тензор напряжений
5. Тензор напряжений при равновесном всестороннем сжатии
6. Упругие и пластические деформации
7. Уравнение для свободной энергии тела
8. Термодинамический потенциал
9. Деформация сдвига и всестороннее сжатие
10. Закон Гука для малых деформаций
11. Однородные деформации (модуль Юнга)
12. Коэффициент Пуассона
13. Одностороннее сжатие
14. Деформация с изменением температуры (адиабатические и изотермические). Связь модулей деформации.
15. Уравнение равновесия изотропных тел в векторной форме
16. Уравнение равновесия при деформации, вызванной силами, приложенными к поверхности тела.
17. Уравнение равновесия для неравномерно нагретого тела
18. Упругие свойства кристаллов кубической системы
19. Упругие свойства кристаллов триклинической и моноклинической систем
20. Упругие волны в изотропной среде
21. Упругие волны в кристаллах
22. Ангармонические колебания

**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-симметрическим распределением температуры.
8. Вывести уравнение равновесия изотропного тела (при отсутствии объемных сил), выраженные через компоненты тензора напряжений
9. Выразить напряжения  $\sigma_{\varphi\varphi}$   $\sigma_{rr}$   $\sigma_{\varphi r}$  при плоской деформации (в полярных координатах  $r$ ,  $\varphi$ ) 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 уравнение теории упругости, механизмов пластической деформации, факторов влияющих на пластичность, вязкость разрушении 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 экзамене используется 4-балльная шкала: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

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

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания компетенций	Шкала оценок
Полные и развёрнутые ответы на вопросы билета, возможны некоторые неточности, в целом не влияющие на содержание ответа; в случае активной работы в течение семестра и систематической подготовки докладов возможно выставление зачёта автоматом.	Зачтено
отсутствие основных знаний по разделам дисциплины, отсутствие ответов на вопросы билета	Не зачтено
Критерии оценивания компетенций	Шкала оценок
Владение теоретическим материалом, изложенным в лекциях, умение ставить и решать задачи средней сложности	Отлично
Владение теоретическим материалом, изложенным в лекциях, умение решать простейшие задачи	Хорошо
Владение теоретическим материалом, изложенным в лекциях	Удовлетворительно
Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки.	Неудовлетворительно

## 20.3 Фонд оценочных средств сформированности компетенций студентов, рекомендуемый для проведения диагностических работ

ПК-2 Способен использовать знания о методах синтеза и свойствах материалов различного назначения, в том числе наноматериалов, для решения профессиональных задач

### Перечень заданий для оценки сформированности компетенции:

#### 1) закрытые задания (тестовые, средний уровень сложности):

1 Суммой двух тензоров называется тензор:

- а)  $c_{i+j}^{p+q} = a_i^p + b_j^q$       б)  $c_{2i}^{2p} = a_i^p + b_i^p$       в)  $c_{ij}^{pq} = a_i^p + b_j^q$   
г)  $c_i^p = a_i^p + b_i^p$       д)  $c_{ij}^{pk} = a_i^p + b_{ij}^{pk}$       е) верного ответа нет

2 Результатом свертывания тензора  $c_{ijk}^{pq}$  по индексам  $p$  и  $j$  называется:

- а) тензор  $c_{iuk}^{rq}$  с компонентами  $c_{iuk}^{rq} = c_{ijk}^{pq}$ ;      б) тензор  $c_j^p$  с компонентами  $c_j^p = c_{ijk}^{pq}$   
в) тензор  $c_{ik}^q$  с компонентами  $c_{ik}^q = a_{irk}^{rq}$ ;      г) тензор  $c_{ik}^q$  с компонентами  $c_{ik}^q = c_{irk}^{rq}$   
д) тензор  $c_u^r$  с компонентами  $c_u^r = c_j^p$ ;      е) верного ответа нет

3. Тензор деформации определяет:

- а) смещение точки тела при деформации  
б) радиус-вектор точки в деформированном теле  
в) изменение элемента длины при деформировании тела  
г) относительное удлинение (сужение) тела  
д) изменение объема тела при деформации  
е) все ответы верны

4. Тензор  $c_{ij}$  называется кососимметрическим, если:

- а)  $c_{ij} = c_{ji}$       б)  $c_{ij} = -c_{ji}$       в)  $c_j = c_i$       г)  $c_i^j = c_{ji}$   
д)  $c_{ij} = \sqrt{\frac{2}{5}}c_{ji}$       е) верного ответа нет

5. Приведение тензора  $u_{ik}$  к главным осям означает:

- а) что в каждой данной точке можно выбрать такую систему координат, в которой тензор  $u_{ik} = u_{ki}$   
б) что в каждой данной точке можно выбрать такую систему координат, в которой тензор  $u_{ik} = -u_{ki}$   
в) что в каждой данной точке можно выбрать такую систему координат, в которой из всех компонент тензора отличны от нуля только компоненты  $u_{21}, u_{22}, u_{23}$   
г) что в каждой данной точке можно выбрать такую систему координат, в которой из всех компонент тензора равны нулю компоненты  $u_{11}, u_{22}, u_{33}$   
д) что в каждой данной точке можно выбрать такую систему координат, в которой из всех компонент тензора отличны от нуля только «диагональные» компоненты  
е) все ответы верны

6. В случае равномерного всестороннего сжатия тензор напряжений равен:

- |   |   |
|---|---|
| а) $\sigma_{ik} = -p\delta_{ik}$                | б) $\sigma_{ik} = \frac{1}{2V} \oint (P_i x_k + P_k x_i) df$  |
| в) $\sigma_{ik} = \oint (P_i x_k + P_k x_i) df$ | г) $\sigma_{ik} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_k} + \frac{\partial u_k}{\partial x_i} + \frac{\partial u_l}{\partial x_i} \frac{\partial u_l}{\partial x_k} \right)$ |
| д) $\sigma_{ik} = \int F_i dV$                  | е) верного ответа нет   |

7. Основное термодинамическое соотношение для деформируемых тел имеет вид

- |   |  |                                     |
|---|--|-------------------------------------|
| а) $d\varepsilon = TdS + \sigma_{ik} du_{ik}$ | б) $\Phi = \varepsilon - TS - \sigma_{ik} du_{ik}$ | в) $\Phi = F - \sigma_{ik} du_{ik}$ |
| г) $d\Phi = -SdT - \sigma_{ik} du_{ik}$       | д) $dF = -SdT + \sigma_{ik} du_{ik}$               | е) все ответы верны                 |

8. Градиент – это:

- а) векторный оператор векторного поля, показывает насколько и в какую сторону закручено поле в каждой точке
- б) характеристика, показывающая направление наискорейшего возрастания некоторой величины, значение которой меняется от одной точки пространства к другой
- в) дифференциальный оператор, действующий в линейном пространстве гладких функций и обозначаемый символом *grad*
- г) линейная комбинация подмногообразий одной размерности
- д) дифференциальный оператор, преобразующий гармонические функции на плоскости
- е) скалярный дифференциальный оператор векторного поля, который показывает, насколько поле имеет тенденцию расходиться из данной точки

9. Момент сил, действующих на некоторый объем тела, может быть записан в виде:

- |  |  |                                       |
|--|--|---------------------------------------|
| а) $M_{ik} = \frac{1}{2V} \oint (P_i x_k + P_k x_i) df$    | б) $M_{ik} = \oint (F_i x_k - F_k x_i) dV$ | в) $M = \frac{\sigma_{ik} u_{ik}}{2}$ |
| г) $M_{ik} = \oint (\sigma_{il} x_k - \sigma_{kl} x_i) df$ | д) $M_i = \sigma_{ik} n_k$                 | е) верного ответа нет                 |

10. Внутренними напряжениями называются:

- а) силы, стремящиеся вернуть тело в состояние равновесия при деформировании
- б) силы, стремящиеся деформировать тело изнутри
- в) напряжения, вызывающие деформацию
- г) силы, возникающие в теле после деформирования
- д) тензорные поля, снимающие остаточную деформацию
- е) все ответы верны

1. Оператор набла – это:

- а) оператор, отображающий каждый элемент пространства в себя
- б) вектор с компонентами  $\frac{\partial}{\partial x_1}, \frac{\partial}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial}{\partial x_n}$  в  $n$ -мерном пространстве
- в) величина, преобразующаяся как вектор при операциях поворота, но, в отличие от вектора, не меняющая свой знак при инверсии координат
- г) линейный оператор, отображающий векторное пространство  $L_K$  над полем  $K$  в векторное пространство  $M_K$
- д) векторный оператор векторного поля, показывает насколько и в какую сторону закручено поле в каждой точке
- е) все выше перечисленные утверждения верны

2. Коэффициентом Пуассона называется:

- а) отношение касательного напряжения к величине угла сдвига тела
- б) отношение модуля сдвига к модулю всестороннего сжатия
- в) отношение поперечного сжатия к продольному растяжению
- г) величина, связывающая тензор напряжения и тензор деформации

- д) величина, определяющая работу сил на проведение деформации  
 е) полный дифференциал от функции напряжений

3. Какие деформации называются всесторонним сжатием?

- а) деформации с изменением объема, но без изменения формы.  
 б) деформации, при которых тензор напряжения постоянен вдоль всего объема тела  
 в) деформации, при которых модуль сдвига равен модулю всестороннего сжатия  
 г) деформации при постоянной нагрузке со всех сторон  
 д) деформация, при которой во всем теле одна из компонент вектора смещения равна нулю  
 е) все выше перечисленные деформации являются всесторонним сжатием

4. Какие из данных утверждений верны для Закона Гука при малых деформациях:

- а) модуль сдвига пропорционален изменению объема тела  
 б) изменение объема обратно пропорционально коэффициенту всестороннего сжатия  
 в) тензор деформации является линейно функцией тензора напряжений  
 г) внутренняя энергия тела при малых деформациях остается постоянной  
 д) свободная энергия тела является квадратичной функцией приложенных сил  
 е) все выше перечисленные утверждения не верны

5. Адиабатическими называются деформации:

- а) при которых не происходит изменения температуры тела  
 б) если количество теплоты, переданное телу во время деформации, равно нулю  
 в) при которых не учитывается коэффициент теплового расширения  
 г) при которых не происходит обмена теплом между различными участками тела  
 д) при которых энтропия принимает минимальное значение  
 е) если работа, производимая силами внутренних напряжений во время деформации, равна нулю

6. Общий вид свободной энергии деформированного кристалла есть:

- а)  $F = \frac{\sigma_{ik}u_{ik}}{2}$       б)  $dF = -SdT + \sigma_{ik}du_{ik}$       в)  $F = \frac{1}{2} \lambda_{iklm}u_{ik}u_{lm}$   
 г)  $P_i = \sigma_{ik}n_k$       д)  $\sigma_{ik} = \int F_i dV$       е) верного ответа нет

7. Независимыми величинами, характеризующими упругие свойства кристалла триклинической симметрии, будут:

- а) 13 модулей      б) 8 модулей      в) 12 модулей      г) 18 модулей  
 д) 9 модулей      е) верного ответа нет

8. Распространение каких волн связано с деформацией отдельных участков тела?

- а) плоских волн      б) упругих волн      в) поперечных волн  
 г) стоячих волн      д) продольных волн      е) верного ответа нет

9. Почему при применении элементов симметрии кристалла некоторые компоненты тензора модулей упругости обращаются в нуль?

- а) в силу того, что тензор модулей упругости симметричен  
 б) так как компоненты тензора преобразуются как произведения соответствующих координат  
 в) из-за того, что соображения симметрии фиксируют выбор осей координат  
 г) так как при этом все характеризующие кристалл свойства должны оставаться неизменными  
 д) потому что изменение свободной энергии при изотермическом сжатии является квадратичной функцией тензора деформации  
 е) верного ответа нет

10. Какие из типов симметрии кристаллов имеют одинаковое количество упругих модулей:

- а) Моноклинная и триклиническая      б) тетрагональная и ромбическая  
 в) триклиническая и ромбоздрическая      г) ромбическая и ромбоздрическая  
 д) тетрагональная и ромбоздрическая      е) верного ответа нет



Г) В результате переползания дислокации как единого целого; Д) Верного ответа нет.

13. Плоскостями двойникования в кристаллах являются  
А) Плотноупакованные плоскости и плоскости дефекта упаковки;  
**Б) Плоскости зеркального отражения, пересечения которых с поверхностью имеют вид прямолинейных границ.**  
В) Плоскости с наименьшим вектором Бюргерса дислокации;  
Г) {211}  
Д) Все ответы верны

14. Как определить по кривой напряжение-деформация механизм деформации  
А) По появлению площадки текучести  
Б) По исчезновению участка упругой деформации  
В) По появлению участков зубчатого вида  
Г) По снижению предела прочности  
Д) Верного ответа нет.

15. К какому типу границ относятся плоскости двойникования  
А) Межзеренный тип      Б) Межфазный тип      **В) Когерентный тип**  
Г) Двойниковый тип      Д) Верного ответа нет

16. Что представляет собой процесс двойникования  
**А) Кооперативное движение атомов на часть межатомного расстояния**  
Б) Расщепление дислокаций  
В) Образование частичных дислокаций  
Г) Образование дефектов упаковки с последующим двойникованием  
Д) Все ответы верны

17. Какие параметры кристалла изменяются при двойниковании  
А) Симметрия      Б) Структура      В) Сингония  
Г) Симметрия и структура      **Д) Верного ответа нет**

18. Чем определяется величина сдвиговой деформации при двойниковании  
А) Энергией образования дефекта упаковки  
Б) Приложенными нормальными напряжениями  
**В) Изменением угла между неискаженными плоскостями**  
Г) Энергией движения перегиба на дислокации  
Д) Верного ответа нет

19. При каких условиях скорость двойникования в кристалле возрастает  
А) С увеличением скорости деформации      Б) с понижением температуры  
В) с уменьшением энергии дефекта упаковки      Г) с понижением энергии сдвига  
**Д) Все ответы верны**

20. Механизмом двойникования в кристалле является  
А) **Дислокационный механизм;**      Б) Полюсный механизм;  
В) Механизм поперечного скольжения;      Г) Кооперативный механизм;  
Д) Все ответы верны

21. Как происходит рост двойника по механизму Коттрелла-Билби  
**А) Путем Образования дефекта упаковки вращением дислокации с последующим движением вдоль линии дислокации**  
Б) Частичные дислокации расщепляются в скоплении и в плоскости двойникования, давая двойникующие дислокации  
В) Путем искажения плоскостей плотной упаковки с последующим зеркальным отражением в плоскости (111)  
Г) Путем движения частичной дислокации вдоль линии дислокации перпендикулярно неискаженным плоскостям  
Д) Верного ответа нет

ПК-5 Способен выбирать технические средства и методы испытаний материалов для решения технологических задач, поставленных специалистом более высокой квалификации

- 1) тестовые задания:

  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
    - Г) В площади поперечного сечения и направлении прикладываемой нагрузки
    - Д) Ответы А-Г верны
    - Е) Верного ответа нет.
  2. Поправка на наличие зоны пластического течения вычисляется по следующей формуле 1.4:
    - $\sigma = (2ET / \pi l)^{1/2}$
    - $r_y = (1/2\pi) \cdot (K / \sigma_{0.2})^2$
    - $K = \sigma \sqrt{l\pi}$
    - $r_y / l = 2\pi \cdot (K / \sigma_{0.2})^2$
    - $K = \lim(1/2) \cdot \sigma_m (\pi\rho)^{1/2}$
    - Е) Верного ответа нет.
  3. 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  $K$ .
    - 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 нестабильному 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.

1. Основные механизмы пластической деформации?

- А) Скольжение, двойникование;
- Б) Скольжение, двойникование, сбросообразование;
- В) Скольжение, двойникование, переползание;
- Г) Скольжение, двойникование, сбросообразование, переползание;
- Д) Релаксация, образование ступенек и перегибов;
- Е) Все ответы НЕ верны.

2. Общее число возможных систем скольжения, которое может принимать участие в скольжении в ГЦК кристаллах?

- А) 12;
- Б) 48;
- В) 36;
- Г) 4;
- Д) 16;
- Е) зависит от соотношения с/а.

3. Вдоль каких направлений идет скольжение дислокаций в ОЦК кристаллах?

- А) (111);
- Б) <110>;
- В) [112];
- Г) <111>;
- Д) (112);
- Е) Все ответы НЕ верны.

4. Чем объясняется различие между кривыми  $\sigma - \epsilon$  при деформации растяжением случайно ориентированного кристалла?

- А) Поворотом плоскости скольжения дислокаций в удобное для скольжения положение;
- Б) Тем, что регистрация напряжений течения не лучший способ измерения напряжений в процессе скольжения;
- В) Различием в ориентировке плоскостей и направлений скольжения по отношению к внешней нагрузке;
- Г) Линейной зависимостью тензора напряжений от деформации;
- Д) Тем, что приведенное напряжение сдвига увеличивается с ростом деформации;
- Е) Все ответы ВЕРНЫ.

5. Чем определяется предел текучести монокристалла?

- А) Его ориентацией и фактором Шмида;
- Б) Фактором Шмида;
- В) Типом кристаллической решетки;
- Г) Направлением приложенной нагрузки;
- Д) Степенью предварительной деформации;
- Е) Всеми вышеперечисленными факторами

6. В чем заключается явление геометрического разупрочнения?

- А) В увеличении числа дислокаций в направлении нагрузки;
- Б) В повороте плоскости скольжения дислокаций в удобное для скольжения положение;
- В) В изменении геометрии кристалла с ростом деформации;
- Г) В увеличении приведенного напряжения сдвига с ростом деформации;

Д) В уменьшении приведенного напряжения сдвига с ростом деформации;  
Е) Все ответы НЕ верны.

7. Общее число возможных систем скольжения, которое может принимать участие в скольжении в ОЦК кристаллах?

- А) 12;  
Б) 48;  
В) 36;  
Г) 4;  
Д) 16;  
Е) зависит от соотношения с/а.

8. Наиболее плотноупакованными плоскостями в ОЦК кристаллах являются?

- А)  $(111)$ ;  
Б)  $\{100\}$ ;  
Г)  $\{111\}$ ;  
Д)  $(112)$ ;  
Е) Все ответы НЕ верны.

9. Общее число возможных систем скольжения, которое может принимать участие в скольжении в ГПУ кристаллах?

- А) 12;  
Б) 48;  
В) 36;  
Г) 4;  
Д) 16;  
Е) зависит от соотношения с/а.

10. При каких условиях деформация скольжением в кристалле происходить не может?

- А) фактор Шмida равен нулю;
  - Б) ось растяжения параллельна плоскости скольжения;
  - В) ось растяжения нормальна к плоскости скольжения;
  - Г) направляющий косинус между осями различных систем скольжения равен нулю;
  - Д) касательные напряжения равны нулю;
  - Е) все ответы ВЕРНЫ.

## 11. В чём состоит явление деформационного упрочнения?

- А) В увеличении числа дислокаций в направлении нагрузки;
  - Б) В повороте плоскости скольжения дислокаций в удобное для скольжения положение;
  - В) В изменении геометрии кристалла с ростом деформации;
  - Г) В увеличении приведенного напряжения сдвига с ростом деформации;
  - Д) В уменьшении приведенного напряжения сдвига с ростом деформации;
  - Е) Все ответы **ВЕРНЫ**.

12. Какая плоскость в ОЦК кристаллах является главной плоскостью дефекта упаковки?



## Критерии и шкалы оценивания заданий ФОС:

Для оценивания выполнения заданий используется балльная шкала:

### 1) закрытые задания (тестовые, средний уровень сложности):

- 1 балл – указан верный ответ;
  - 0 баллов – указан неверный ответ (полностью или частично неверный).

2) открытые задания (тестовые, повышенный уровень сложности):

- 2 балла – указан верный ответ;
  - 0 баллов – указан неверный ответ (полностью или частично неверный)

3) открытые задания (мини-кейсы, средний уровень сложности).

- 5 баллов – задание выполнено верно (получен правильный ответ, обоснован (аргументирован) ход выполнения (при необходимости));
  - 2 балла – выполнение задания содержит незначительные ошибки, но приведен правильный ход рассуждений, или получен верный ответ, но отсутствует обоснование хода его выполнения (если оно было необходимым), или задание

выполнено не полностью, но получены промежуточные (частичные) результаты, отражающие правильность хода выполнения задания, или, в случае если задание состоит из нескольких подзаданий, верно выполнено 50% таких подзаданий;

- 0 баллов – задание не выполнено или выполнено неверно (получен неправильный ответ, ход выполнения ошибочен или содержит грубые ошибки).

**Задания раздела 20.3 рекомендуются к использованию при проведении диагностических работ с целью оценки остаточных результатов освоения данной дисциплины (знаний, умений, навыков).**