

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

**Б1.В.ДВ.01**  
(индекс дисциплины)

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Механизмы деформации и разрушения наноматериалов**

(наименование дисциплины)

по направлению подготовки (специальности)

**22.04.01 Материаловедение и технологии материалов**

направленность (профиль)/специализация

**Инжиниринг перспективных материалов и диагностика поведения материалов в изделиях**

Форма обучения: Очная

Год набора: 2019

Общая трудоемкость: 20 ЗЕ

**Распределение часов дисциплины по семестрам**

Семестр	2	3	Итого
Форма контроля	Зач.	Экз.	
Вид занятий			
Лекции	8	8	<b>16</b>
Лабораторные	0	0	<b>0</b>
Практические	16	18	<b>34</b>
Руководство: курсовые работы (проекты) / РГР	0	0	<b>0</b>
Промежуточная аттестация	0,25	0,4	<b>0,65</b>
Контактная работа	24,25	26,35	<b>50,6</b>
Самостоятельная работа	335,8	298	<b>633,8</b>
Контроль	0	35,65	<b>35,65</b>
<b>Итого</b>	<b>360</b>	<b>360</b>	<b>720</b>

Рабочую программу составил(и):

Зав. кафедрой НМиМ, д.т.н., профессор Клевцов Г.В.

*(должность, ученое звание, степень, Фамилия И.О.)*

---

*(должность, ученое звание, степень, Фамилия И.О.)*

---

Рецензирование рабочей программы дисциплины:

☐

Отсутствует

☐

Рецензент

*(должность, ученое звание, степень, Фамилия И.О.)*

---

Рабочая программа дисциплины составлена на основании ФГОС ВО и учебного  
плана направления подготовки (специальности) 22.04.01 Материаловедение и  
технологии материалов

---

УТВЕРЖДЕНО

На заседании кафедры НМиМ

---

(протокол заседания № 1 от «30» августа 2018 г.).

## 1. Цель освоения дисциплины

Цель освоения дисциплины – сформировать знания об особенностях и механизмах деформации и разрушения материалов и дать навыки об использовании этих знаний на практике.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплины и практики, на освоении которых базируется данная дисциплина: специальные вопросы материаловедения, специальные сплавы, материаловедение и технологии современных и перспективных материалов.

Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее: методы исследования, контроля и диагностики материалов, производственная практика (преддипломная практика).

## 3. Планируемые результаты обучения

Формируемые и контролируемые компетенции (код и наименование)	Индикаторы достижения компетенций (код и наименование)	Планируемые результаты обучения
(ПК-1) Способен понимать физические и химические процессы, протекающие в материалах при их получении, обработке и модификации, использовать в исследованиях и расчетах знания о методах исследования, анализа, диагностики и моделирования свойств веществ (материалов), проводить комплексные исследования, применяя стандартные и сертификационные испытания	(ПК-1.3) Способен проводить комплексные исследования, применяя стандартные и сертификационные испытания	Знать: физические и химические процессы, протекающие в материалах при их получении, обработке и модификации,
		Уметь: понимать физические и химические процессы, протекающие в материалах при их получении, обработке и модификации, использовать в исследованиях и расчетах знания о методах исследования, анализа, диагностики и моделирования свойств веществ (материалов)
		Владеть: способностью понимать физические и химические процессы, протекающие в материалах при их получении, обработке и модификации, использовать в исследованиях и расчетах знания о методах исследования, анализа, диагностики и моделирования свойств веществ (материалов), проводить комплексные исследования, применяя стандартные и сертификационные испытания

#### 4. Структура и содержание дисциплины

##### 4.1 Механизмы деформации и разрушения наноматериалов 1

Модуль (раздел)	Вид учебной работы	Наименование тем занятий (учебной работы)	Семестр	Объем, ч.	Баллы	Интерактив, ч.	Формы текущего контроля (наименование оценочного средства)
Основные механизмы деформации и разрушения при однократных видах нагружения	Лек.	Вязкое разрушение материалов. Макро- и микрофрактографические особенности строения вязких изломов	2	2	-		Опрос
	Пр.	Классификация видов деформации и механизмов разрушения материалов. Особенности разрушения наноматериалов	2	2	-	2	Обсуждение
	Пр.	Кинетика и механизм вязкого разрушения	2	2	-	2	Обсуждение
	Лек.	Транс- и интеркристаллическое хрупкое разрушение. Макро- и микрофрактографические особенности строения хрупких изломов	2	2	-		Опрос
	Пр.	Кинетика и механизм хрупкого разрушения	2	2	-	2	Обсуждение
	Пр.	Причины охрупчивания сталей	2	2	-	2	Обсуждение
	Лек.	Разрушение материалов в интервале вязко-хрупкого перехода. Определение критических температур хрупкости материалов с ОЦК решеткой	2	2	-		Опрос
	Пр.	Особенности разрушения материалов в интервале вязко-хрупкого перехода.	2	2	-	2	Обсуждение
	Пр.	Методы определения критических температур хрупкости	2	2	-	2	Обсуждение
	Лек.	Квазихрупкое и смешанное разрушение материалов	2	2	-		Опрос
	Пр.	Кинетика и механизм квазихрупкого разрушения	2	2	-	2	Обсуждение
	Пр.	Особенности и механизм смешанного разрушения материалов	2	2	-	2	Обсуждение
<b>Итого:</b>				<b>24</b>			

#### 4.2 Механизмы деформации и разрушения наноматериалов 2

Модуль (раздел)	Вид учебной работы	Наименование тем занятий (учебной работы)	Семестр	Объем, ч.	Баллы	Интерактив, ч.	Формы текущего контроля (наименование оценочного средства)
Разрушение материалов при циклическом нагрузении	Лек.	Кинетика и механизмы усталостного разрушения. Мало- и многоцикловая усталость	3	2	-		Опрос
	Пр.	Механизмы зарождения и развития усталостной трещины	3	2	-	2	Обсуждение
	Пр.	Цикл нагружения: амплитуда, частота, коэффициент асимметрии цикла и т.д.	3	2	-	2	Обсуждение
	Лек.	Макро- и микрофрактографическое строение усталостных изломов.	3	2	-		Опрос
	Пр.	Мало- и многоцикловая усталость: макро- и микростроение изломов	3	2	-	2	Обсуждение
	Пр.	Определение предела усталости материалов	3	2	-		Обсуждение
	Лек.	Кинетические диаграммы усталостного разрушения. Уравнение Периса	3	2	-		Опрос
	Пр.	Основы механики разрушения при усталостном нагружении	3	2	-	2	Обсуждение
	Пр.	Построение кинетических диаграмм. Уравнение Перисв	3	2	-	2	Обсуждение
Диагностика разрушения конструкций и деталей машин	Лек.	Основы диагностики аварийного разрушения конструкций и деталей машин	3	2	-		Опрос
	Пр.	Общий анализ усталостных изломов. Макростроение	3	2	-	2	Обсуждение
	Пр.	Определение очагов зарождения усталостной трещины	3	2	-	2	Обсуждение
	Пр.	Оценка параметров разрушения	3	2		2	Обсуждение
Итого:				26			

## 5. Образовательные технологии

При реализации данной дисциплины используются следующие технологии:

Технология традиционного обучения – предлагает традиционную последовательность изучения нового материала, в форме лекций, лабораторных работ и самостоятельной работы студентов;

Информационные технологии – предлагают использование компьютера во время проведения занятий, например, визуальные лекции с использованием презентационного метода обучения.

Интерактивные технологии – диалоговое обучение, в ходе которого осуществляется взаимодействие между студентом и преподавателем, либо между студентами, использование метода обучения «мозговой штурм», использование элементов проблемного обучения в виде наличия вопросов проблемного характера в лабораторных работах и требований анализа полученных результатов с последующим выводом по экспериментальным и расчетным данным.

## 6. Методические указания по освоению дисциплины

Учебная деятельность студента в процессе изучения дисциплины «Механизмы деформации и разрушения наноматериалов» состоит из контактной формы работы с преподавателем в аудитории и самостоятельной работы. Для успешного освоения дисциплины является обязательным посещение лекций, практических и лабораторных занятий и иных форм работы.

При подготовке к выполнению практических работ используется учебник: Г.В. Клевцов, Н. А. Клевцова, О. А. Фролова. Физика и механика разрушения: Основы диагностики разрушения металлических материалов: электронный учебник. - Тольятти : ТГУ, 2014. - 264 с.

Каждая из практических работ завершается выполнением теста, который позволяет студенту оценить уровень овладения изучаемой темой.

Самостоятельная работа студентов по дисциплине «Механизмы деформации и разрушения наноматериалов» имеет особое значение, поскольку позволяет перейти от формального выполнения определенных заданий при пассивной роли студента к познавательной активности с формированием собственного мнения при решении поставленных проблемных вопросов и задач. Самостоятельная работа студентов служит получению новых знаний, упорядочению и углублению имеющихся знаний, формированию профессиональных навыков и умений.

## 7. Оценочные средства

### 7.1. Паспорт оценочных средств

Семестр	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
2	ПК-1	Вопросы к зачету № 1-20
3	ПК-1	Вопросы к экзамену №1-43

### 7.2. Типовые задания или иные материалы, необходимые для текущего контроля

#### 7.2.1. Комплект заданий для практической работы

1. Тема «Макрофрактографический анализ изломов наноструктурированного материала, полученных при однократных видах нагружения (статических, ударных)».

1. Какой вид (схема) деформированного состояния соответствует хрупкому разрушению материала:
  - а) объемное деформированное состояние,
  - б) плоское деформированное состояние,
  - в) разноименное объемное состояние.
2. Какой вид напряженного состояния соответствует вязкому разрушению материала при испытаниях образца на изгиб?
  - а) объемное,
  - б) линейное,
  - в) плоское.
3. Почему материалы с ГЦК решеткой более пластичны?
  - а) т.к. материалы с ГЦК решеткой имеют большое количество непересекающихся систем скольжения,
  - б) т.к. ГЦК решетка более плотноуплотненная,
  - в) т.к. материалы с ГЦК имеют больше плоскостей скольжения.
4. Как влияет деформация сжатием на пластичность сталей?
  - а) пластичность возрастает,
  - б) пластичность снижается,
  - в) пластичность не меняется.
5. В каком состоянии сталь обладает большей коррозионной стойкостью?
  - а) после закалки,
  - б) после отжига,
  - в) после пластической деформации.

2. Тема «Расчет трещиностойкости наноструктурированного материала».

1. Что понимают под статической трещиностойкостью ( $K_{Ic}$ ) материала?
  - А) способность материала сопротивляться статическим нагрузкам.
  - Б) способность материала с трещиной сопротивляться статическим нагрузкам.
  - В) способность материала с трещиной сопротивляться пластической деформации.
2. Для чего в образцах для испытания на  $K_{Ic}$  выращивают усталостную трещину?
  - А) для ускорения разрушения.
  - Б) для создания более жесткого локального напряженного состояния.
  - В) для того, чтобы в образце развивалась только одна трещина.
3. В каких условиях локального напряженного состояния испытывают образцы на  $K_{Ic}$ ?
  - А) в условии плоской деформации.
  - Б) в условии плоского напряженного состояния.
  - В) особых условий нет.
4. Как влияет наноструктурирование на статическую трещиностойкость материалов?
  - А) повышает трещиностойкость.
  - Б) снижает трещиностойкость

В) влияет неоднозначно.

5. Как можно достигнуть условия плоской деформации в образце?

- А) охлаждать образец.
- Б) повышать толщину образца.
- В) увеличить скорость нагружения.

3. Тема «Оценка локального напряженного состояния наноматериала по критериям механики разрушения и макростроению изломов»

1. Какой вид излома соответствует условию плоской деформации при разрушении?

- А) хрупкий
- Б) вязкий
- В) смешанный.

2. Критерий оценки условия плоской деформации, согласно ГОСТ?

- А)  $t / (K_{Ic} / \sigma_{0,2})^2 \geq 2,5$
- Б)  $t / (K_{Ic} / \sigma_{0,2})^2 \geq 5,2$
- В)  $t / (K_{Ic} / \sigma_{0,2})^2 \geq 1,5$

3. Можно ли использовать для оценки условия плоской деформации критерий  $h_{max} / t$  ?

- А) да
- Б) нет
- В) да, но только для материалов с ОЦК решеткой.

4. Зависит ли  $K_{Ic}$  материала от размера и формы образцов?

- А) да
- Б) нет
- В) только от размера.

5. Зависит ли  $K_{sc}$  материала от размера и формы образцов?

- А) да
- Б) нет
- В) только от размера

4. Тема «Макрофрактографический анализ усталостных изломов наноструктурированного сплава».

1. Пределом выносливости (усталости) называют...

- А) напряжение, при котором материал выдерживает заданное число циклов нагружения
- Б) максимальное напряжение цикла, при котором материал выдерживает определенное число циклов нагружения (базу) без разрушения
- В) напряжение, по достижению которого происходит разрушение.

2. Укажите вид излома, при котором на его поверхности в области разрушения видны две зоны:

- А) интеркристаллитный хрупкий
- Б) вязкий
- В) усталостный.

3. Как влияет наноструктурирование на предел усталости материала?



- А) повышает предел усталости
- Б) снижает предел усталости
- В) не влияет на предел усталости.

4. В чем проявляется стадийность усталостного разрушения?

- А) в образовании усталостных зон на поверхности излома.
- Б) в количестве циклов нагружения до образования трещины и количестве циклов на ее распространение.
- В) стадийность усталостного разрушения отсутствует.

5. С чем связано образование циклической пластической зоны у вершины трещины?

- А) с обратной пластической деформацией.
- Б) с изменением локального напряженного состояния материала.
- В) с циклическими нагрузками.

5. Тема «Построение кинетических диаграмм усталостного разрушения обычного и наноструктурированного сплава».

1. В каких координатах строят кинетические диаграммы усталостного разрушения?

- А) в координатах  $dl/dN - \Delta K$ .
- Б) в координатах  $\lg dl/dN - \lg \Delta K$ .
- В) в координатах  $\ln dl/dN - \ln \Delta K$ .

2. Уравнение Пэрисса.

- А)  $dl/dN = C \Delta K^n$
- Б)  $dl/dN = C K_{\max}^n$
- В)  $\ln dl/dN = \ln \Delta K^n$

3. Какой материал лучше сопротивляется развитию усталостной трещины?

- А) с низким значением коэффициента  $n$  в уравнении Пэрисса.
- Б) с высоким значением коэффициента  $n$  в уравнении Пэрисса.
- В) не зависит от коэффициента  $n$ .

4. Сколько участков выделяют на кинетической диаграмме усталостного разрушения?

- А) два участка.
- Б) три участка.
- В) четыре участка.

5. Укажите критические значения  $K$  на кинетической диаграмме усталостного разрушения?

- А)  $K_{th}$
- Б)  $K_{fc}$
- В)  $K_{Ic}$

#### Критерии оценки:

- оценка «отлично» выставляется, если студент правильно ответил более чем на 80 % вопросов;
- оценка «хорошо» выставляется, если студент правильно ответил правильно, не менее чем на 60 % вопросов;
- оценка «удовлетворительно» выставляется, если студент правильно ответил не менее чем на 40 % вопросов;
- оценка «неудовлетворительно» выставляется, если студент правильно ответил менее чем на 40 % вопросов.

**Темы письменных работ**  
(не предусмотрены)

**7.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины**

**7.3.1. Вопросы к промежуточной аттестации**

Семестр 2

**Вопросы к зачету**

1. Классификация изломов металлических материалов.
2. Вязкое разрушение. Механизм и фрактографические признаки вязкого разрушения.
3. Хрупкое разрушение. Механизм хрупкого разрушения.
4. Фрактографические признаки хрупкого разрушения. Транскристаллитное и интеркристаллитное (межзеренное) разрушение.
5. Вязко-хрупкий переход. Фрактографические признаки разрушения материалов в интервале вязко-хрупкого перехода.
6. Критические температуры хрупкости. Методы определения.
7. Причины перехода материалов из пластического состояния в хрупкое.
8. Хладноломкость металлов. Схема Иоффе-Давиденкова, Влияние на хладноломкость напряженного состояния, толщины образца, скорости нагружения.
9. Влияние размера зерна и наличия примесей на напряжение отрыва. Межзеренная хрупкость.
10. Виды воздействия сред эксплуатации: коррозионно-механическое растрескивание, хрупкость при контакте с расплавленными металлическими покрытиями, радиационное повреждение.
11. Задачи и основные понятия механики разрушения. Типы трещин (отрыв, поперечный сдвиг, продольный сдвиг),
12. Коэффициент интенсивности напряжения, его размерность.
13. Виды локального напряженного состояния материала у вершины трещины (плоская деформация, плоское напряженное состояние).
14. Схемы образования пластических зон при плоской деформации и плоском напряженном состоянии.
15. Схемы образования пластических зон в переходной области от плоской деформации к плоскому напряженному состоянию.
16. Критерий для определения локального напряженного состояния.
17. Связь локального напряженного состояния с критическими температурами хрупкости.
18. Условия прочности для элементов конструкций с трещиной.
19. Методы расчета коэффициента интенсивности напряжения у вершины трещины.
20. Методика экспериментального определения статической трещиностойкости материала  $K_{Ic}$ .

Семестр 3

	Вопросы к экзамену
1.	Классификация изломов металлических материалов.
2	Вязкое разрушение. Механизм и фрактографические признаки вязкого разрушения.
3	Хрупкое разрушение. Механизм хрупкого разрушения.

4	Фрактографические признаки хрупкого разрушения. Транскристаллитное и интеркристаллитное (межзеренное) разрушение.
5	Вязко-хрупкий переход. Фрактографические признаки разрушения материалов в интервале вязко-хрупкого перехода.
6	Критические температуры хрупкости. Методы определения.
7	Причины перехода материалов из пластического состояния в хрупкое.
8	Хладноломкость металлов. Схема Иоффе-Давиденкова, Влияние на хладноломкость напряженного состояния, толщины образца, скорости нагружения.
9	Влияние размера зерна и наличия примесей на напряжение отрыва. Межзеренная хрупкость.
10	Виды воздействия сред эксплуатации: коррозионно-механическое растрескивание, хрупкость при контакте с расплавленными металлическими покрытиями, радиационное повреждение.
11	Задачи и основные понятия механики разрушения. Типы трещин.
12	Коэффициент интенсивности напряжения, его размерность.
13	Виды локального напряженного состояния материала у вершины трещины (плоская деформация, плоское напряженное состояние).
14	Схемы образования пластических зон при плоской деформации и плоском напряженном состоянии.
15	Критерий для определения локального напряженного состояния.
16	Условия прочности для элементов конструкций с трещиной.
17	Методика экспериментального определения статической трещиностойкости материала $K_{Ic}$ .
18	Понятие усталости металла.
19	Испытание образцов на усталость.
20	Цикл усталостного нагружения (амплитуда).
21	Многоцикловая усталость.
22	Малоцикловая усталость.
23	Кинетическая диаграмма усталостного разрушения.
24	Соотношение макро- и микроскорости усталостной трещины
25	Зоны пластической деформации при усталостном разрушении.
26	Схемы образования пластических зон.
27	Факторы, влияющие на скорость распространения трещины.
28	Критические значения коэффициентов интенсивности напряжения.
29	Уравнение Пэриса.
30	Расчет долговечности конструкций.
31	Уравнение Коффина-Менеона.
32	Факторы, влияющие на предел выносливости.
33	Методы расчета конструкций на выносливость.
34	Виды циклов.
35	Кривые усталости.
36	Квазистатическое разрушение.
37	Малоцикловая и многоцикловая усталость.
38	Цикл усталостного нагружения (коэффициент асимметрии).
39	Цикл усталостного нагружения (частота циклов).
40	Фрактографические признаки усталостных изломов.
41	Пороговые значения коэффициентов интенсивности напряжения.
42	Методы расчета коэффициента интенсивности напряжения у вершины трещины.
43	Связь локального напряженного состояния с критическими температурами хрупкости.

### 7.3.2. Критерии и нормы оценки

Семестр	Форма проведения промежуточной аттестации	Критерии и нормы оценки	
2	Устный ответ	«зачтено»	студент правильно ответил не менее чем на 40 % вопросов.
		«не зачтено»	студент правильно ответил менее чем на 40 % вопросов.
3	Устный ответ	«отлично»	студент правильно ответил более чем на 80 % вопросов
		«хорошо»	студент правильно ответил правильно, не менее чем на 60 % вопросов
		«удовлетворительно»	студент правильно ответил не менее чем на 40 % вопросов.
		«неудовлетворительно»	студент правильно ответил менее чем на 40 % вопросов.

## 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 8.1. Обязательная литература

№ п/п	Авторы, составители	Заглавие (заголовок)	Тип (учебник, учебное пособие, учебно-методическое пособие, практикум, др.)	Год издания	Количество в научной библиотеке / Наименование ЭБС
1	Г. В. Клевцов, Бобрук Е.В., Семенова И.П., Клевцова Н.А., Валиев Р.З.	Прочность и механизмы разрушения объемных наноструктурированных металлических материалов. - Уфа: РИК УГАТУ	Учебное пособие для студентов вузов	2016	5
2	Гуляев В. П.	Специальный раздел механики [Электронный ресурс] : деформации и разрушение стальных изделий. - Санкт-Петербург : Лань	Учебное пособие	2017	ЭБС "Лань"

### 8.2. Дополнительная литература

№ п/п	Авторы, составители	Заглавие (заголовок)	Тип (учебник, учебное пособие, учебно-методическое пособие, практикум, др.)	Год издания	Количество в научной библиотеке / Наименование ЭБС
1	Г. В. Клевцов, Н. А. Клевцова, О. А. Фролова	Физика и механика разрушения [Электронный ресурс]: Основы диагностики разрушения металлических материалов.- Тольятти: ТГУ	Электронный учебник	2014	ЭБС "РУКОНТ"
2	Белкин П. Н	Механические свойства, прочность и разрушение твёрдых тел . - Саратов: Вузовское образование	Учебное пособие	2013	ЭБС "IPRbooks"

### 8.3. Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

- «Вестник магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова», <http://vestnik.magtu.ru>
- «Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: технические науки», <http://science.samgtu.ru/node/31>
- «Литьё и металлургия» <http://lim.bntu.by>
- «Технология металлов» <http://www.nait.ru>
- «Перспективные материалы» <http://www.j-pm.ru>

### 8.4. Перечень программного обеспечения

№ п/п	Наименование ПО	Количество лицензий	Реквизиты договора (дата, номер, срок действия)
1	Windows	1398	Договор № 690 от 19.05.2015г., срок действия - бессрочно
2	Office Standart	1398	Договор № 690 от 19.05.2015г., срок действия - бессрочно; Договор № 727 от 20.07.2016г., срок действия - бессрочно

### 8.5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

№ п/п	Наименование оборудованных учебных кабинетов, лабораторий, мастерских и др. объектов для проведения практических и лабораторных занятий, помещений для самостоятельной работы обучающихся (номер аудитории)	Перечень основного оборудования
1	Компьютерный класс. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа. Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа. Учебная аудитория для проведения лабораторных работ. Учебная аудитория для курсового проектирования (выполнения курсовых работ). Учебная аудитория для проведения групповых и индивидуальных консультаций Учебная аудитория для проведения занятий текущего контроля и промежуточной аттестации (Е-214)	Проектор, экран, доска
2	Лаборатория «Металлография». Учебная аудитория для проведения лабораторных работ (Е-203)	Микроскоп, макеты кристаллических решеток, плакаты, образцы изломов
3	Помещение для самостоятельной работы студентов (Г-401)	Столы ученические, стулья ученические, ПК с выходом в сеть Интернет