

ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

СОГЛАСОВАНО

Handwritten signature of E.I. Prakhin in black ink.

Руководитель ОПОП ВО  
профессор Е.И. Пряхин

УТВЕРЖДАЮ

Handwritten signature of V.V. Maksarov in black ink.

Декан механико-  
машиностроительного факультета  
профессор В.В. Максаров

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

**ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ**

**РАЗРУШЕНИЯ**

Уровень высшего образования:	Подготовка кадров высшей квалификации
Направление подготовки:	22.06.01 Технологии материалов
Направленность (профиль):	Материаловедение (машиностроение)
Форма обучения:	очная
Нормативный срок обучения:	4 года
Составитель:	к.т.н., доцент А.В. Сивенков

Санкт-Петербург

**Рабочая программа дисциплины «Физические основы механики разрушения»** разработана:

– в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 22.06.01 Технологии материалов (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденного приказом Минобрнауки РФ № 888 от 30 июля 2014;

– на основании учебного плана направленности (профиля) «Материаловедение (машиностроение)» по направлению подготовки 22.06.01 Технологии материалов.

**Составитель**



к.т.н., доцент А.В. Сивенков

**Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры материаловедения и технологии художественных изделий от «23» мая 2019 г., протокол № 10**

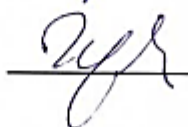
**Рабочая программа согласована:**

Декан факультета аспирантуры  
и докторантуры



к.т.н. В.В. Васильев

Заведующий кафедрой  
материаловедения и технологии  
художественных изделий



д.т.н., проф. Е.И. Пряхин

## 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель преподавания дисциплины «Физические основы механики разрушения» — дать аспирантам соответствующие знания по теоретическим основам формирования механических свойств, физических основ механики разрушения, разработка материалов с заданными механическими характеристиками, научить определению механических свойств материалов конструкционного и функционального назначения. Знания являются необходимыми при теоретической и практической подготовке будущих специалистов в области материаловедения, которая является необходимой для оптимального выбора материалов и технологий их обработки для производства изделий машиностроения различного назначения.

Задачей изучения дисциплины «Физические основы механики разрушения» является овладение знаниями основных теоретических основ формирования физико-механических свойств и процессов, протекающих в материалах под действием различных внешних воздействий в ходе эксплуатации деталей оборудования.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ

Дисциплина «Физические основы механики разрушения» относится к вариативной части Блока I «Дисциплины (модули) по выбору» основной профессиональной образовательной программы по направлению подготовки 22.06.01 «Технологии материалов» и изучается в 4 семестре.

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Процесс изучения дисциплины «Физические основы механики разрушения» направлен на формирование следующих компетенций:

Формируемые компетенции по ФГОС ВО		Основные показатели освоения программы дисциплины
Содержание компетенции	Код компетенции	
Способность проводить теоретические и экспериментальные исследования влияния структуры (типа, количества и характера распределения дефектов кристаллического строения) на физические, химические, механические, технологические и эксплуатационные свойства металлов и сплавов	ПК-1	<b>Знать</b> теоретические и экспериментальные исследования влияния структуры (типа, количества и характера распределения дефектов кристаллического строения) на физические, химические, механические, технологические и эксплуатационные свойства металлов и сплавов
		<b>Уметь</b> проводить теоретические и экспериментальные исследования влияния структуры (типа, количества и характера распределения дефектов кристаллического строения) на физические, химические, механические, технологические и эксплуатационные свойства металлов и сплавов
		<b>Владеть</b> способностью проводить теоретические и экспериментальные исследования влияния структуры (типа, количества и характера распределения дефектов кристаллического строения) на физические, химические, механические, технологические и эксплуатационные свойства металлов и сплавов
Способность ориентироваться в приоритетных направлениях развития научной деятельности, выявлять и формировать по направлению тематику научных исследований, организовывать по тематике	ПК-2	<b>Знать</b> приоритетные направления развития научной деятельности, выявлять и формировать по направлению тематику научных исследований, организовывать по тематике проведение теоретических и экспериментальных исследований термических, термоупругих, термопластических, термохимических, термомагнитных, радиационных, акустических и других воздействий изменения структурного состояния и свойств металлов и

Формируемые компетенции по ФГОС ВО		Основные показатели освоения программы дисциплины
Содержание компетенции	Код компетенции	
проведение теоретических и экспериментальных исследований термических, термоупругих, термопластических, термохимических, термомагнитных, радиационных, акустических и других воздействий изменения структурного состояния и свойств металлов и сплавов.		сплавов.
		<b>Уметь</b> ориентироваться в приоритетных направлениях развития научной деятельности, выявлять и формировать по направлению тематику научных исследований, организовывать по тематике проведение теоретических и экспериментальных исследований термических, термоупругих, термопластических, термохимических, термомагнитных, радиационных, акустических и других воздействий изменения структурного состояния и свойств металлов и сплавов.
		<b>Владеть</b> способностью ориентироваться в приоритетных направлениях развития научной деятельности, выявлять и формировать по направлению тематику научных исследований, организовывать по тематике проведение теоретических и экспериментальных исследований термических, термоупругих, термопластических, термохимических, термомагнитных, радиационных, акустических и других воздействий изменения структурного состояния и свойств металлов и сплавов.
Способность проводить теоретические и экспериментальные исследования влияния фазового состава и структурного состояния на зарождение и распространение трещин при различных видах внешних воздействий	<b>ПК-3</b>	<b>Знать</b> теоретические и экспериментальные исследования влияния фазового состава и структурного состояния на зарождение и распространение трещин при различных видах внешних воздействий
		<b>Уметь</b> проводить теоретические и экспериментальные исследования влияния фазового состава и структурного состояния на зарождение и распространение трещин при различных видах внешних воздействий
		<b>Владеть</b> способностью проводить теоретические и экспериментальные исследования влияния фазового состава и структурного состояния на зарождение и распространение трещин при различных видах внешних воздействий
Способность разрабатывать новые и совершенствовать существующие технологические процессы объемной и поверхностной термической, химико-термической, термомеханической и других видов обработок, связанные с термическим воздействием, а также специализированного оборудования	<b>ПК-4</b>	<b>Знать</b> новые и совершенствовать существующие технологические процессы объемной и поверхностной термической, химико-термической, термомеханической и других видов обработок, связанные с термическим воздействием, а также специализированного оборудования
		<b>Уметь</b> разрабатывать новые и совершенствовать существующие технологические процессы объемной и поверхностной термической, химико-термической, термомеханической и других видов обработок, связанные с термическим воздействием, а также специализированного оборудования
		<b>Владеть</b> способностью разрабатывать новые и совершенствовать существующие технологические процессы объемной и поверхностной термической, химико-термической, термомеханической и других видов обработок, связанные с термическим воздействием, а также специализированного оборудования
Способность разрабатывать новые принципы создания сплавов, обладающих	<b>ПК-6</b>	<b>Знать</b> новые принципы создания сплавов, обладающих заданным комплексом свойств, в том числе для работы в экстремальных условиях

Формируемые компетенции по ФГОС ВО		Основные показатели освоения программы дисциплины
Содержание компетенции	Код компетенции	
заданным комплексом свойств, в том числе для работы в экстремальных условиях		<b>Уметь</b> разрабатывать новые принципы создания сплавов, обладающих заданным комплексом свойств, в том числе для работы в экстремальных условиях
		<b>Владеть</b> способностью разрабатывать новые принципы создания сплавов, обладающих заданным комплексом свойств, в том числе для работы в экстремальных условиях
Способность определять механизмы влияния различных механических, тепловых, магнитных и других внешних воздействий на структурное состояние металлических материалов и разрабатывать на этой основе новые принципы и методики их испытаний, обеспечивающие надежное прогнозирование работоспособности конструкций	<b>ПК-7</b>	<b>Знать</b> механизмы влияния различных механических, тепловых, магнитных и других внешних воздействий на структурное состояние металлических материалов и разрабатывать на этой основе новые принципы и методики их испытаний, обеспечивающие надежное прогнозирование работоспособности конструкций
		<b>Уметь</b> определять механизмы влияния различных механических, тепловых, магнитных и других внешних воздействий на структурное состояние металлических материалов и разрабатывать на этой основе новые принципы и методики их испытаний, обеспечивающие надежное прогнозирование работоспособности конструкций
		<b>Владеть</b> способностью определять механизмы влияния различных механических, тепловых, магнитных и других внешних воздействий на структурное состояние металлических материалов и разрабатывать на этой основе новые принципы и методики их испытаний, обеспечивающие надежное прогнозирование работоспособности конструкций

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### 4.1. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоёмкость учебной дисциплины составляет 3 зачётных единицы, 108 ак. часов.

Вид учебной работы	Всего ак. часов	Ак. часы по семестрам
		4
<b>Аудиторная работа, в том числе:</b>	<b>12</b>	<b>12</b>
Лекции (Л)	4	4
Практические занятия (ПЗ)	8	8
Лабораторные работы (ЛР)	-	-
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>96</b>	<b>96</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>ДЗ</b>	<b>ДЗ</b>
дифференцированный зачёт	-	-
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>		
	<b>ак. час.</b>	<b>108</b>
	<b>зач. ед.</b>	<b>3</b>

## 4.2. Содержание дисциплины

Учебным планом предусмотрены: лекции, практические занятия, самостоятельная работа.

### 4.2.1 Разделы дисциплин и виды занятий

№ п/п	Наименование разделов	Виды занятий				
		Всего ак. часов	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	ная работа аспиранта, в том числе курсовая работа
1.	Современные подходы к оценке характеристик механических свойств материалов.	54	2	4	-	48
2.	Научные подходы в оценке разрушения под действием эксплуатационных факторов.	54	2	4	-	48
<b>Итого:</b>		<b>108</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>-</b>	<b>78</b>

### 4.2.2. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак. часах
1.	Современные подходы к оценке характеристик механических свойств материалов.	Классификация механических испытаний: по схеме напряженного или деформированного состояния, по способу нагружения образца, по характеру изменений нагрузки во времени. Условия подобия механических испытаний. Масштабный фактор. Гомологическая температура. Физическая природа и способы определения предела пропорциональности. Физическая природа пределов упругости и текучести. Условный и физический предел текучести. Причины образования зуба и площадки текучести на кривых растяжения. Деформационное старение. Влияние температуры испытаний на величину физического и условного пределов текучести. Предел прочности. Равномерная и сосредоточенная деформации. Диаграмма истинных напряжений при растяжении. Методика испытаний на вязкость разрушения, применяемые образцы. Условия определения вязкости разрушения при плоском деформированном состояний. Диаграммы «нагрузка-смещение», «нагрузка-раскрытие» трещины. Практическое значение вязкости разрушения как характеристики трещиностойкости материала. Зависимость трещиностойкости от состава и структуры материала. Особенности пластической деформации и разрушения при динамическом нагружении. Методика определения ударной вязкости и температуры вязко-хрупкого перехода. Разделение ударной вязкости на составляющие. Оценка склонности к хрупкому разрушению по результатам ударных испытаний. Методика испытаний на ползучесть, применяемые машины и образцы. Предел ползучести. Предел длительной прочности и долговечности. Испытания на длительную прочность, применяемые образцы и методика. Релаксация напряжений и связь с ползучестью. Методика испытаний на релаксацию, применяемые схемы и образцы. Методика проведения усталостных испытаний. Циклы напряжений и их характеристики. Схемы нагружения, применяемые машины и образцы. Кривые усталости и определение предела выносливости. Методы статистической обработки результатов усталостных испытаний. Испытания на малоцикловую усталость и её характеристики. Скорость роста трещины при усталости. Циклическая трещиностойкость и её характеристики. Диаграмма усталостного разрушения. Низкотемпературная пластическая деформация скольжением.	2

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоёмкость в ак. часах
		<p>Связь величины макроскопического сдвига с характеристиками дислокационной структуры. Линии и полосы скольжения. Кристаллография и системы скольжения в металлах с кубическими и гексагональными кристаллическими решетками. Особенности скольжения в кристаллах с объемноцентрированной кубической решеткой. Развитие деформации в монокристаллах с г.д.к. решеткой при низких температурах. Стадии пластической деформации: легкое (одиночное) скольжение, множественное скольжение, поперечное скольжение. Эволюция дислокационной структуры при пластической деформации. Влияние ориентировки относительно оси растяжения на картину пластической деформации. Пластическая деформация поликристаллов. Образование текстуры деформации. Особенности пластической деформации скольжением в монокристаллах и поликристаллах металлов с г.п. и о.д.к. решетками. Пластическая деформация металлов двойникованием. Кристаллография и системы двойникования в металлах с кубическими и гексагональными кристаллическими решетками. Соотношение скольжения и двойникования в процессе пластической деформации. Картина пластической деформации и кривые деформационного упрочнения при двойниковании. Влияние энергии дефектов упаковки и схемы напряженного состояния на пластическую деформацию и их деформационное упрочнение. Термический возврат и динамическая полигонизация при высокотемпературной деформации. Ползучесть и ее виды. Кривые ползучести. Стадии ползучести. Зависимость скорости ползучести от напряжений и температуры. Особенности пластической деформации в условиях ползучести при высоких гомологических температурах. Пластическая деформация ковалентных и ионных кристаллов. Зависимость характера деформирования от скорости деформирования. Деформация поликристаллических керамик. Деформация аморфных веществ. Модельные представления о деформации полимеров, хаотическая деформация полимеров в стеклообразном, высокопластичном и кристаллическом состояниях. Механизмы упрочнения. Реализация различных механизмов при разработке высокопрочных материалов. Влияние примесей, легирования и структуры на пластическую деформацию и упрочнение металлов. Растворное упрочнение. Упрочнение когерентными и некогерентными частицами избыточных фаз. Композиционные минералы.</p>	
2.	<p>Научные подходы в оценке разрушения под действием эксплуатационных факторов.</p>	<p>Виды разрушения: отрыв и срез. Схемы разрушения при различных механических испытаниях. Условия перехода от хрупкого отрыва к вязкому срезу. Диаграмма механического состояния Я.Б.Фридмана. Основные стадии разрушения: зарождение зародышевой трещины, распространение трещины. Энергоемкость и скорость распространения трещины при вязком и хрупком разрушении. Механизмы зарождения трещин. Распространение трещин. Основные представления линейной механики разрушения. Теория хрупкого разрушения Гриффитса. Сопротивление движению трещин. Коэффициент интенсивности напряжений и вязкость разрушения. Учет пластической деформации при разрушении. Нелинейная механика разрушения. Вязкое разрушение. Зарождение трещины при вязком разрушении. Хрупкое разрушение. Опасность хрупкого разрушения. Структура поверхности разрушения. Классификация изломов. Зависимость перехода от вязкого разрушения к хрупкому от температуры, структуры материала и условий испытаний, скорости деформации и наличия надразов. Схема А.Ф. Иоффе и температура вязко-хрупкого перехода. Хладноломкость металлов и способы борьбы с</p>	2

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак. часах
		ней. Причины склонности к хрупкому разрушению металлов и сплавов с о.ц.к. решеткой. Роль примесей внедрения. Разрушение при высокотемпературной ползучести. Природа усталостного разрушения. Механизмы зарождения и распространения усталостных трещин. Влияние различных факторов на предел выносливости: Термическая усталость. Прочность и разрушение полимеров и полимерных композиционных материалов.	
<b>Итого:</b>			<b>4</b>

#### 4.2.3. Практические занятия:

№ п/п	Раздел	Тематика практических занятий	Трудоемкость в ак. часах
1.	Раздел 1.	Определение модуля нормальной упругости динамическим методом.	2
2.		Определение модуля нормальной упругости статическим методом.	2
3.	Раздел 2.	Определение температуры хладноломкости.	2
4.		Фрактографическое исследование поверхности разрушения.	2
<b>Итого:</b>			<b>8</b>

#### 4.2.4. Лабораторные работы:

Лабораторные работы: не предусмотрены

#### 4.2.5. Курсовые работы

Курсовая работа (проект): не предусмотрены.

#### 4.2.6. Примерные темы рефератов

1. Физическая природа и способы определения предела пропорциональности, упругости, текучести и прочности;
2. Применимость на практике предела ползучести и длительной прочности;
3. Методика определения усталостных испытаний и способы обработки полученных данных;
4. Разрушение металлов и сплавов в материаловедение: основные виды и модели;
5. Основы математического моделирования процессов разрушения.

### 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В ходе обучения применяются:

**Лекции**, которые являются одним из важнейших видов учебных занятий и составляют основу теоретической подготовки обучающихся. Цели лекционных занятий:

-дать систематизированные научные знания по дисциплине, акцентировать внимание на наиболее сложных вопросах дисциплины;

-стимулировать активную познавательную деятельность обучающихся, способствовать формированию их творческого мышления.

**Практические занятия.** Цели практических занятий:

-совершенствовать умения и навыки решения практических задач.

Главным содержанием этого вида учебных занятий является работа каждого обучающегося по овладению практическими умениями и навыками профессиональной деятельности.



**Консультации** (текущая консультация, накануне диф. зачета) является одной из форм руководства учебной работой обучающихся и оказания им помощи в самостоятельном изучении материала дисциплины, в ликвидации имеющихся пробелов в знаниях, задолженностей по текущим занятиям, в подготовке письменных работ (проектов).

Текущие консультации проводятся преподавателем, ведущим занятия в учебной группе, научным руководителем и носят как индивидуальный, так и групповой характер.

**Самостоятельная работа обучающихся** направлена на углубление и закрепление знаний, полученных на лекциях и других занятиях, выработку навыков самостоятельного активного приобретения новых, дополнительных знаний, подготовку к предстоящим учебным занятиям и промежуточному контролю.

## **6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **6.1. Оценочные средства для самостоятельной работы и текущего контроля успеваемости**

#### **Раздел 1. Современные подходы к оценке характеристик механических свойств материалов**

1. Требования, предъявляемые к механическим свойствам конструкционных материалов.

2. Классификация механических свойств.

3. Условия подобия механических испытаний.

4. Каков механизм упругой деформации? Физический смысл модуля упругости.

5. Какие величины связывает закон Гука? Каков геометрический смысл модулей упругости на диаграммах деформации?

6. В чем проявляется и с чем связана анизотропия упругих свойств? Как влияет температура на модули упругости металлов?

7. Каково влияние пластической деформации и отжига на упругие характеристики металлов?

8. Как влияет легирование на модули упругости сталей и сплавов?

9. В чем состоит сущность и каковы возможности статических методов измерения упругих характеристик?

10. Какие динамические методы используются для определения модулей упругости? Что лежит в основе этих методов?

11. В чем состоит эффект Баушингера, какова его физическая природа?

12. Как объясняется эффект упругого последствия и каково его практическое значение?

13. Назовите основные причины внутреннего трения в металлах и сплавах.

14. Какими методами определяются характеристики внутреннего трения?

15. Какова природа сверхупругости?

16. Каковы основные дислокационные механизмы пластической деформации?

17. Как связана макропластическая деформация с характеристиками движущихся дислокаций?

18. Что такое система скольжения? Какие и сколько систем скольжения в металлах с г.ц.к., г.п. и о.ц.к. решетками?

19. Какова картина пластической деформации монокристаллов с г.ц.к. решеткой при низких температурах?

20. Чем отличается пластическая деформация поликристаллов от деформации монокристаллов?

21. В чем заключаются особенности пластической деформации монокристаллов с г.п. и о.ц.к. решетками?

22. Как изменяется плотность дислокации при пластической деформации и к чему приводит это изменение?
23. Как влияет ориентация монокристалла на величину приведенного напряжения сдвига? Что такое фактор ориентации (фактор Шмида)?
24. В каких случаях пластическая деформация осуществляется двойникованием? Какие и сколько систем двойникования в металлах с г.ц.к., о.ц.к. и г.п. решетками?
25. Каково влияние температуры и скорости деформации на пластическую деформацию и деформационное упрочнение?
26. При каких температурах и напряжениях возможны недислокационные механизмы деформации?
27. Какова зависимость характера деформирования ковалентных и ионных кристаллов от скорости деформирования?
28. Каким образом примесные атомы могут влиять на пластическую деформацию?
29. В чем заключается растворное упрочнение?
30. Каковы механизмы влияния частиц избыточных фаз на пластическую деформацию?

## **Раздел 2. Научные подходы в оценке разрушения под действием эксплуатационных факторов**

1. Чем отличается отрыв и срез? При действии каких напряжений они реализуются?
2. Как схематически выглядят виды разрушения при различных механических испытаниях?
3. Каковы механизмы зарождения трещин? Какова роль дислокаций в этом процессе?
4. Каковы энергетические условия развития трещины в механике разрушения?
5. Что характеризует коэффициент интенсивности напряжений  $K_{Ic}$ ?
6. Что характеризует величина критического раскрытия трещины?
7. Что такое вязкость разрушения?
8. Какова структура поверхности излома при вязком разрушении?
9. В чем состоит основная опасность хрупкого разрушения? Как распространяется хрупкая трещина?
10. Какой вид имеет поверхность хрупкого излома?
11. Как классифицируются изломы?
12. Как влияет жесткость схемы напряженного состояния, температура и скорость деформации на характер разрушения?
13. Как объясняется существование расхода в схеме А.Ф. Иоффе?
14. Что такое хладноломкость, в чем ее опасность? Каковы способы борьбы с хладноломкостью?
15. В чем состоит явление усталости? Как оно проявляется на практике?
16. Как зарождаются и распространяются усталостные трещины?
17. Какой вид имеет усталостный излом?
18. Как влияет состояние поверхности на выносливость металлических материалов?
19. Что такое термическая усталость?
20. Что такое изнашивание, износ и износостойкость?
21. Какие виды изнашивания возможны при эксплуатации металлических изделий?
22. Какие явления приводят к недопустимому изнашиванию при трении?

## 6.2. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации (дифференцированный зачет)

### 6.2.1. Примерный перечень вопросов для подготовки к дифференцированному зачету (по дисциплине):

1. Классификация механических свойств.
2. Условия подобия механических испытаний.
3. Каков механизм упругой деформации? Физический смысл модуля упругости.
4. Какие величины связывает закон Гука? Каков геометрический смысл модулей упругости на диаграммах деформации?
5. Каково влияние пластической деформации и отжига на упругие характеристики металлов?
6. Как влияет легирование на модули упругости сталей и сплавов?
7. В чем состоит сущность и каковы возможности статических методов измерения упругих характеристик?
8. В чем состоит эффект Баушингера, какова его физическая природа?
9. Назовите основные причины внутреннего трения в металлах и сплавах.
10. Какими методами определяются характеристики внутреннего трения?
11. Какова природа сверхупругости?
12. Каковы основные дислокационные механизмы пластической деформации?
13. Как изменяется плотность дислокации при пластической деформации и к чему приводит это изменение?
14. Как влияет ориентация монокристалла на величину приведенного напряжения сдвига? Что такое фактор ориентации (фактор Шмида)?
15. Каким образом примесные атомы могут влиять на пластическую деформацию?
16. В чем заключается растворное упрочнение?
17. Чем отличается отрыв и срез? При действии каких напряжений они реализуются?
18. Каковы механизмы зарождения трещин? Какова роль дислокаций в этом процессе?
19. Каковы энергетические условия развития трещины в механике разрушения?
20. Что характеризует коэффициент интенсивности напряжений  $K_{Ic}$ ?
21. Что характеризует величина критического раскрытия трещины?
22. Что такое вязкость разрушения?
23. Какова структура поверхности излома при вязком разрушении?
24. Какой вид имеет поверхность хрупкого излома?
25. Как классифицируются изломы?
26. Как объясняется существование расхода в схеме А.Ф. Иоффе?
27. В чем состоит явление усталости? Как оно проявляется на практике.
28. Как зарождаются и распространяются усталостные трещины?
29. Какой вид имеет усталостный излом?
30. Как влияет состояние поверхности на выносливость металлических материалов?
31. Что такое термическая усталость?
32. Что такое изнашивание, износ и износостойкость?
33. Какие виды изнашивания возможны при эксплуатации металлических изделий?
34. Какие явления приводят к недопустимому изнашиванию при трении?

## 6.2.2. Примерные тестовые задания к дифференцированному зачету

### Вариант 1

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
1.	Назовите наименование величины $\sigma_T^H$ , (МПа) - ...	1. верхний предел текучести. 2. ударная вязкость. 3. твердость по Бринеллю. 4. нижний предел текучести.
2.	Назовите наименование величины $E$ , (ГПа) - ...	1. верхний предел текучести. 2. ударная вязкость. 3. коэффициент "мягкости". 4. модуль нормальной упругости (Юнга).
3.	Назовите наименование величины HRC - ...	1. верхний предел текучести. 2. ударная вязкость. 3. твердость по Роквеллу. 4. модуль нормальной упругости (Юнга).
4.	Назовите наименование величины $\sigma_{0,2}^{изг}$ , (МПа) - ...	1. предел выносливости. 2. условный предел текучести при изгибе. 3. предел длительной прочности. 4. износостойкость
5.	Условное обозначение величины предела прочности - ...	1. $\sigma_T$ . 2. $\sigma_{0,2}$ . 3. $\sigma_B$ . 4. $\sigma_0$ .
6.	Назовите наименование величины KCU, (мДж/мм <sup>2</sup> ) - ...	1. твердость по Роквеллу. 2. верхний предел текучести. 3. вязкость разрушения при плоской деформации. 4. ударная вязкость.
7.	Диапазон размеров диагонали отпечатка при измерении микротвердости на ПМТ-3.	1. 500-3000 МПа. 2. 0,5-1,5 мм. 3. 7-50 мкм. 4. 2-5 мм.
8.	Какие факторы оказывают влияние на модуль нормальной упругости?	1. Химический состав. 2. Структура. 3. Кристаллографическая структура. 4. Химический состав, структура и кристаллографическая структура.
9.	Условное обозначение величины полного относительного сужения - ...	1. $\sigma_B$ . 2. $\delta_K$ . 3. $\sigma_0$ . 4. $\varphi_K$ .
10.	К условиям подobia механических испытаний относится ....	1. изгиб, кручение, сжатие. 2. геометрическое, механическое, физическое. 3. испытания на выносливость. 4. температура испытаний.
11.	Назовите наименование величины $\delta_L$ - ...	1. деформация Людерса. 2. ударная вязкость. 3. твердость по Бринеллю. 4. модуль нормальной упругости (Юнга).
12.	Назовите наименование величины	1. верхний предел текучести.

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
	$\sigma_0$ , (МПа) - ...	2. внутреннее сопротивление скольжению. 3. ударная вязкость. 4. модуль нормальной упругости (Юнга).
13.	Назовите наименование величины $K_{Ic}$ - ...	1. верхний предел текучести. 2. ударная вязкость. 3. вязкость разрушения при плоской деформации. 4. модуль нормальной упругости (Юнга).
14.	Назовите наименование величины $K$ - ...	1. ударная вязкость. 2. коэффициента Петча. 3. твердость по Бринеллю. 4. модуль нормальной упругости (Юнга).
15.	Условное обозначение величины модуля деформационного упрочнения - ...	1. $\delta$ . 2. $D_{0,05}$ . 3. $(\sigma_T^B - \sigma_T^H)$ . 4. $\delta_{соср}$ .
16.	Условное обозначение величины верхнего предела текучести - ...	1. $\sigma_T^B$ . 2. $\sigma_T$ . 3. $\sigma_{0,2}$ . 4. $\sigma_T^H$ .
17.	Из перечисленных свойств механическим является ...	1. плотность. 2. коэрцитивная сила. 3. пластичность. 4. сжимаемость.
18.	Условное обозначение величины высоты зуба текучести - ...	1. $\sigma_T^B$ . 2. $\sigma_T$ . 3. $(\sigma_T^B - \sigma_T^H)$ . 4. $D_{0,1}$ .
19.	Измерение какого механического свойства используется обычно для контроля качества термической обработки?	1. Износостойкость. 2. Прочность. 3. Пластичность. 4. Твердость.
20.	Какое из перечисленных свойств в наибольшей степени характеризует сопротивление материала хрупкому разрушению?	1. Твердость. 2. Предел прочности. 3. Относительное удлинение. 4. Ударная вязкость.

### Вариант 2

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
1.	Условное обозначение величины условного предела текучести - ...	1. $\sigma_{равн}$ . 2. $D_{0,1}$ . 3. $\sigma_{0,2}$ . 4. $\sigma_T$ .
2.	Назовите наименование величины $T_{хр}$ - ...	1. температура испытаний. 2. условный предел текучести. 3. износостойкость.

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
		4. температура хрупко-вязкого перехода.
3.	К условиям подобия механических испытаний относится ....	1. геометрическое, механическое, физическое. 2. изгиб, кручение, сжатие. 3. испытания на выносливость. 4. температура испытаний.
4.	Назовите наименование величины $\sigma_B$ , (МПа) - ...	1. верхний предел текучести. 2. ударная вязкость. 3. твердость по Бринеллю. 4. временное сопротивление разрыву (условный предел прочности).
5.	От каких факторов зависит собственная частота поперечных колебаний атомов металлов?	1. От размеров образца. 2. От плотности. 3. От модуля нормальной упругости. 4. От размеров образца, плотности и модуля нормальной упругости.
6.	Назовите наименование величины $\sigma_T$ , (МПа) - ...	1. ударная вязкость. 2. условный предел текучести. 3. верхний предел текучести. 4. модуль нормальной упругости (Юнга).
7.	Назовите наименование величины $\sigma_{шц}$ , (МПа) - ...	1. верхний предел текучести. 2. ударная вязкость. 3. твердость по Бринеллю. 4. предел пропорциональности.
8.	Диапазон размеров диагонали отпечатка при измерении микротвердости на ПМТ-3?	1. 500-3000 МПа. 2. 0,5-1,5 мм. 3. 7-50 мкм. 4. 2-5 мм.
9.	Назовите наименование величины HV - ...	1. твердость по Бринеллю. 2. ударная вязкость. 3. коэффициент "мягкости". 4. твердость по Виккерсу.
10.	Диапазон прилагаемой нагрузки на инденторе при измерении микротвердости на ПМТ-3.	1. < 5 г. 2. До 10 кгс. 3. 0,05-2 Н. 4. 100-300 кгс.
11.	Назовите наименование величины KCV, (мДж/мм <sup>2</sup> ) - ...	1. ударная вязкость. 2. верхний предел текучести. 3. вязкость разрушения при плоской деформации. 4. модуль нормальной упругости (Юнга).
12.	Назовите наименование величины G, (ГПа) - ...	1. верхний предел текучести. 2. ударная вязкость. 3. коэффициент "мягкости". 4. модуль сдвига.
13.	Условное обозначение величины высоты зуба текучести - ...	1. $\sigma_T^B$ . 2. $\sigma_T$ . 3. $(\sigma_T^B - \sigma_T^H)$ . 4. $D_{0,1}$ .

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
14.	Условное обозначение величины деформации Людерса - ...	1. $\delta_K$ . 2. $\delta_L$ . 3. $\delta$ . 4. $\varphi_K$ .
15.	Измерение какого механического свойства используется обычно для контроля качества термической обработки?	1. Прочность. 2. Ударная вязкость. 3. Пластичность. 4. Твердость.
16.	Условное обозначение величины коэффициента Петча - ...	1. $(\sigma_T^B - \sigma_T^H)$ . 2. $\sigma_0$ . 3. K. 4. $D_{0,1}$ .
17.	Условное обозначение величины полного относительного удлинения - ...	1. $\sigma_T$ . 2. $\delta_K$ . 3. $\sigma_0$ . 4. $D_{0,05}$ .
18.	Условное обозначение величины полного относительного сужения - ...	1. $\sigma_B$ . 2. $\delta_K$ . 3. $\sigma_0$ . 4. $\varphi_K$ .
19.	Условное обозначение величины внутреннего сопротивления скольжению - ...	1. $D_{0,1}$ . 2. $(\sigma_T^B - \sigma_T^H)$ . 3. $\sigma_0$ . 4. $\delta$ .
20.	Какое из перечисленных свойств в наибольшей степени характеризует сопротивление материала хрупкому разрушению?	1. Твердость. 2. Предел прочности. 3. Относительное удлинение. 4. Ударная вязкость.

### Вариант 3

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
1.	Назовите наименование величины $\sigma_{0,2}$ , (МПа) - ...	1. ударная вязкость. 2. условный предел текучести. 3. верхний предел текучести. 4. модуль нормальной упругости (Юнга).
2.	К условиям подобию механических испытаний относится ....	1. геометрическое, механическое, физическое. 2. изгиб, кручение, сжатие. 3. испытания на выносливость. 4. температура испытаний.
3.	Условное обозначение величины полного относительного удлинения - ...	1. $\sigma_T$ . 2. $\sigma_0$ . 3. $\delta_K$ . 4. $D_{0,05}$ .
4.	Это изображена диаграмма ...	1. условных напряжений растяжения материала.

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
		2. истинных напряжений сжатия материала. 3. истинных напряжений растяжения материала. 4. условных напряжений сжатия материала.
5.	Диапазон размеров диагонали отпечатка при измерении микротвердости на ПМТ-3.	1. 500-3000 МПа. 2. 0,5-1,5 мм. 3. 5-10 мм. 4. 7-50 мкм.
6.	Какое напряженное состояние описывает тензор напряжений $(S) = \begin{pmatrix} 000 \\ 000 \\ 00S_3 \end{pmatrix}; S_3 < 0$ ?	1. Двухстороннее растяжение. 2. Одноосное сжатие. 3. Разноименное плоское напряженное состояние. 4. Одноосное растяжение.
7.	Назовите наименование величины $\sigma_T^H$ , (МПа) - ...	1. верхний предел текучести. 2. нижний предел текучести. 3. твердость по Бринеллю. 4. модуль нормальной упругости (Юнга).
8.	Назовите наименование величины $\sigma_T^B$ , (МПа) - ...	1. верхний предел текучести. 2. ударная вязкость. 3. твердость по Бринеллю. 4. модуль нормальной упругости (Юнга).
9.	Назовите наименование величины $\sigma_{пц}$ , (МПа) - ...	1. верхний предел текучести. 2. ударная вязкость. 3. твердость по Бринеллю. 4. предел пропорциональности.
10.	Условное обозначение величины нижнего предела текучести - ...	1. $\sigma_T$ . 2. $\sigma_T^B$ . 3. $\sigma_T^H$ . 4. $\sigma_{0,2}$
11.	Назовите наименование величины G, (ГПа) - ...	1. верхний предел текучести. 2. ударная вязкость. 3. коэффициент "мягкости". 4. модуль сдвига.
12.	Диапазон прилагаемой нагрузки на инденторе при измерении микротвердости на ПМТ-3.	1. < 5 г. 2. До 10 кгс. 3. 0,05-2 Н. 4. 100-300 кгс.
13.	Назовите наименование величины НВ - ...	1. верхний предел текучести. 2. ударная вязкость. 3. твердость по Роквеллу. 4. твердость по Бринеллю.
14.	Эффект Пельтье относится ...	1. ко всему электрическому контуру термопары в целом. 2. к отдельным проводам термопары. 3. к спаям термопары. 4. к спаям и проводам термопары.
15.	Эффект, при котором две проволоки из разных металлов соединены	1. эффектом Зеебека. 2. эффектом Пельтье.



№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
	концами и через один контакт пропускается ток, а в другом контакте выделяются или поглощаются теплота называется ...	3. эффектом Томпсона. 4. сверхпроводимостью.
16.	Явление переноса энергии в форме теплоты в неравномерно нагретой среде за счет связанных колебаний частиц, образующих кристаллическую решетку называется ...	1. термоэлектродвижущая сила. 2. сверхпроводимость. 3. теплопроводность диэлектриков. 4. магнитострикция.
17.	Теплоёмкость твердого тела складывается из теплоёмкости ...	1. решетки. 2. электронного газа. 3. решетки и электронного газа. 4. межузельного пространства решетки.
18.	Параметр $C_p$ означает ...	1. магнитную восприимчивость. 2. удельную теплоемкость. 3. атомную теплоемкость при постоянном давлении. 4. абсолютную т.э.д.с.
19.	Единица измерения данной величины $C_V$ ...	1. А/м. 2. 1/(Ом·м). 3. мкВ/К. 4. Дж/(моль·К).
20.	Магнитно упорядоченные металлы, магнитные моменты подрешеток которых антипараллельны и равны по величине (самопроизвольная намагниченность отсутствует) называются ...	1. парамагнетики. 2. ферромагнетики. 3. антиферромагнетики. 4. ферримагнетики.

### 6.3. Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания

#### 6.3.1. Критерии оценок промежуточной аттестации (дифференцированный зачет)

Примерная шкала оценивания при проведении промежуточной аттестации (дифференцированного зачета)

Оценка			
«2» (неудовлетворительно)	Пороговый уровень освоения	Углубленный уровень освоения	Продвинутый уровень освоения
	«3» (удовлетворительно)	«4» (хорошо)	«5» (отлично)
Посещение менее 50 % лекционных и практических занятий	Посещение не менее 60 % лекционных, лабораторных работ и практических занятий	Посещение не менее 70 % лекционных и практических занятий	Посещение не менее 85 % лекционных и практических занятий
Аспирант не знает значительной части материала, допускает существенные ошибки в ответах на вопросы	Аспирант поверхностно знает материал основных разделов и тем учебной дисциплины, допускает неточности в ответе на вопрос	Аспирант хорошо знает материал, грамотно и по существу излагает его, допуская некоторые	Аспирант в полном объеме знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская

		неточности в ответе на вопрос.	существенных неточностей в ответе на вопрос
Не умеет находить решения большинства предусмотренных программой обучения заданий	Иногда находит решения предусмотренных программой обучения заданий	Уверенно находит решения предусмотренных программой обучения заданий	Безошибочно находит решения предусмотренных программой обучения заданий
Большинство предусмотренных программой обучения заданий не выполнено	Предусмотренные программой обучения задания выполнены удовлетворительно	Предусмотренные программой обучения задания успешно выполнены	Предусмотренные программой обучения задания успешно выполнены

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

### 7.1. Рекомендуемая литература

#### 7.1.1. Основная литература

1. Солнцев, Ю. П. Специальные материалы в машиностроении : учебник / Ю. П. Солнцев, Е. И. Пряхин, В. Ю. Пириайнен. — 2-е изд., испр. и доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 664 с. — ISBN 978-5-8114-3921-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/206546> (дата обращения: 14.12.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Солнцев Ю. П. Материаловедение специальных отраслей машиностроения [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ю. П. Солнцев, В. Ю. Пириайнен, С. А. Вологжанина ; под ред. Ю. П. Солнцева. - СПб. : Химиздат, 2022. - 782. <http://www.iprbookshop.ru/49796.html> — ЭБС «IPRbooks»/.

3. Золоторевский, В.С. Механические свойства металлов: Учебник для вузов. - М.: Металлургия, 1983. - 352с. [http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=108&task=set\\_statistic\\_req&bns\\_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req\\_irb=<.>I=34%2E2%D1%8F73%2F%D0%97%2D812%2D957855<.>](http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=108&task=set_statistic_req&bns_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req_irb=<.>I=34%2E2%D1%8F73%2F%D0%97%2D812%2D957855<.>)

#### 7.1.2. Дополнительная литература

1. В. И. Большаков, Г. Д. Сухомлин, Д. В. Лаухин. Атлас структур металлов и сплавов. - Днепропетровск: ГВУЗ «ЛГАСА», 2010. - 174 с.

2. Прочность материалов и конструкций / Под редакцией В.Т. Трощенко. – Киев: Академперіодика, 2005 г. – 1088 с.

3. С.В. Петин. Эксплуатационная прочность и надежность конструкций [Текст]. – СПб: СПбПУ, 2012, Ч.1 – 49 с.

#### 7.1.3. Учебно-методическое обеспечение

1. Третьяков В. И. Лабораторный практикум по курсу «Методология выбора материалов и технологий в машиностроении» : учебное пособие / В. И. Третьяков, А. Ю. Ампилогов. — Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. — 34 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/52235> .

2. Гуляев В. П. Специальный раздел механики. Деформации и разрушение стальных изделий: учебное пособие / В. П. Гуляев. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 232 с. — ISBN 978-5-8114-2672-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/95138/>.

3. Эксплуатационная надежность металлических конструкций и сооружений производственных зданий в экстремальных условиях Севера . — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2012. — 436 с. — ISBN 978-5-9221-1370-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/59627>.

### 7.2. базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:

1. Европейская цифровая библиотека Europeana: <http://www.europeana.eu/portal>

2. КонсультантПлюс: справочно-поисковая система [Электронный ресурс]. - [www.consultant.ru/](http://www.consultant.ru/)
3. Мировая цифровая библиотека: <http://wdl.org/ru>
4. Научная электронная библиотека «Scopus» <https://www.scopus.com>
5. Научная электронная библиотека ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>
6. Научная электронная библиотека «eLIBRARY»: <https://elibrary.ru/>
7. Поисковые системы Yandex, Rambler, Yahoo и др.
8. Система ГАРАНТ: электронный периодический справочник [Электронный ресурс] [www.garant.ru/](http://www.garant.ru/)
9. Электронная библиотека Российской Государственной Библиотеки (РГБ): <http://www.rsl.ru/>
10. Электронно-библиотечная система издательского центра «Лань» <https://e.lanbook.com/books>
11. Электронная библиотека Российской Государственной Библиотеки (РГБ): <http://elibrary.rsl.ru/>
12. Электронная библиотека учебников: <http://studentam.net>
13. Электронно-библиотечная система «ЭБС ЮРАЙТ» [www.biblio-online.ru](http://www.biblio-online.ru).
14. Электронная библиотечная система «Национальный цифровой ресурс «Рукоонт»». <http://rucont.ru/>
15. Электронно-библиотечная система <http://www.sciteclibrary.ru>

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **8.1 Материально-техническое оснащение аудиторий**

#### **Аудитории для проведения лекционных занятий**

23 посадочных места Металлографический комплекс-1шт, микроскоп Метам РВ-22 (5) – 1 шт., микроскоп металлографический ЛабоМет-1 – 1 шт., микроскоп металлографический ЛабоМет-1 бинокуляр – 1 шт., ноутбук HP Compaq 615 VC288EA – 1 шт., проектор изображения 1928 T2G – 1 шт., проектор NEC M363W – 1 шт., твердомер по Рюквеллу 210HR-150 – 1 шт., экран настенный 178×178 - 1 шт., компьютер HP 6200 Pro – 3 шт., ПЭВМ P11 – 1 шт., ПЭВМ Кей P911 – 1 шт., стол аудиторный - 10 шт., стол компьютерный 1100×600×750 - 6 шт., стул черный кожаный - 23 шт.

#### **Аудитории для проведения лабораторных работ и практических занятий**

23 посадочных места Металлографический комплекс-1шт, микроскоп Метам РВ-22 (5) – 1 шт., микроскоп металлографический ЛабоМет-1 – 1 шт., микроскоп металлографический ЛабоМет-1 бинокуляр – 1 шт., ноутбук HP Compaq 615 VC288EA – 1 шт., проектор изображения 1928 T2G – 1 шт., проектор NEC M363W – 1 шт., твердомер по Рюквеллу 210HR-150 – 1 шт., экран настенный 178×178 - 1 шт., компьютер HP 6200 Pro – 3 шт., ПЭВМ P11 – 1 шт., ПЭВМ Кей P911 – 1 шт., стол аудиторный - 10 шт., стол компьютерный 1100×600×750 - 6 шт., стул черный кожаный - 23 шт.

### **8.2. Помещения для самостоятельной работы:**

13 посадочных мест. Мебель: стул – 25 шт., стол – 2 шт., стол компьютерный – 13 шт., шкаф – 2 шт., доска аудиторная маркерная – 1 шт.

Компьютерная техника:

АРМ учебное ПК (монитор + системный блок) – 14 шт. Доступ к сети «Интернет», в электронную информационно-образовательную среду Университета.

### **8.3. Помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования:**

- Центр новых информационных технологий и средств обучения:
- персональный компьютер – 2 шт. (доступ к сети «Интернет»);

- монитор – 4 шт.;
- сетевой накопитель – 1 шт.;
- источник бесперебойного питания – 2 шт.;
- телевизор плазменный Panasonic – 1 шт.;
- точка Wi-Fi – 1 шт.,
- паяльная станция – 2 шт.;
- дрель – 5 шт.;
- перфоратор – 3 шт.;
- набор инструмента – 4 шт.;
- тестер компьютерной сети – 3 шт.;
- баллон со сжатым газом – 1 шт.;
- паста теплопроводная – 1 шт.;
- пылесос – 1 шт.;
- радиостанция – 2 шт.;
- стол – 4 шт.;
- тумба на колесиках – 1 шт.;
- подставка на колесиках – 1 шт.;
- шкаф – 5 шт.;
- кресло – 2 шт.;
- лестница Alve - 1 шт.

#### **8.4. Лицензионное программное обеспечение:**

- 1. Microsoft Windows 7 Professional (договор бессрочный ГК № 671-08/12 от 20.08.2012 «На поставку продукции»)
- 2. Microsoft Office 2007 Professional Plus (договор бессрочный Microsoft Open License 46431107 от 22.01.2010)
- 3. CorelDRAW Graphics Suite X5 (договор №559-06/10 от 15.06.2010 «На поставку программного обеспечения», обслуживание до 2025 года)
- 4. Autodesk, product: Building Design Suite Ultimate 2016, product Key: 766H1
- 5. Cisco Packet Tracer 7.1 (свободно распространяемое ПО)
- 6. Quantum GIS (свободно распространяемое ПО)
- 7. Python (свободно распространяемое ПО)
- 8. R (свободно распространяемое ПО)
- 9. Rstudio (свободно распространяемое ПО)
- 10. SMath Studio (свободно распространяемое ПО)
- 11. GNU Octave (свободно распространяемое ПО)
- 12. Scilab (свободно распространяемое ПО)
- 13. Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Endpoint Security (договор № Д810(223)-12/17 от 11.12.17)
- 14. 7-zip (свободно распространяемое ПО)
- 15. Foxit Reader (свободно распространяемое ПО)
- 16. SeaMonkey (свободно распространяемое ПО)
- 17. Chromium (свободно распространяемое ПО)
- 18. Java Runtime Environment (свободно распространяемое ПО)
- 19. doPDF (свободно распространяемое ПО)

## ЛИСТ АКТУАЛИЗАЦИИ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ

*Рабочая программа дисциплины «Физические основы механики разрушения» рассмотрена и актуализирована на заседании кафедры Материаловедения и технологии художественных изделий*

№ п/п	№ протокола заседания кафедры	Дата протокола кафедры	Основание
1	8	«28» мая 2020	Договор с Электронно-библиотечной системой «Лань» № Д033(44)-04/20 от 28.04.2020
2	10	«10» июня 2021	Договор с Электронно-библиотечной системой «Лань» № Д041(44)-04/21 от 28.04.2021