

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

**Б1.В.02**

(индекс дисциплины)

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

Физика прочности и пластичности материалов

(наименование дисциплины)

по направлению подготовки

22.03.01 Материаловедение и технологии материалов

направленность (профиль)

Инженерия конструкционных материалов для беспилотных мобильных систем

Форма обучения: заочная

Год набора: 2026

Общая трудоемкость: 3 ЗЕ

**Распределение часов дисциплины по семестрам**

Семестр	5	Итого
Форма контроля	Зачет	
Вид занятий		
Лекции	4	4
Лабораторные	-	-
Практические	-	-
Руководство: курсовые работы (проекты) / РГР		
Промежуточная аттестация	0,25	0,25
Контактная работа	4,25	4,25
Самостоятельная работа	100	100
Контроль	3,75	3,75
<b>Итого</b>	<b>108</b>	<b>108</b>

Рабочую программу составил(и):

доцент, к.ф-м.н., Попова Л.И.

*(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 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов

---

**Срок действия рабочей программы дисциплины до «\_01\_» сентября 2030 г.**

УТВЕРЖДЕНО

На заседании кафедры «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

---

(протокол заседания № 1 от «03» сентября 2025г.).

### 1. Цель освоения дисциплины

Цель освоения дисциплины – научить будущих инженеров анализу связей между структурой, процессами деформации и разрушения и механическими свойствами металлов и сплавов для установления норм и выбора средств управления свойствами.

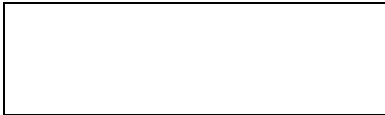
### 2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплины и практики, на освоении которых базируется данная дисциплина: математика, общая физика и химия, сопротивление материалов, материаловедение и технология конструкционных материалов, кристаллография и дефекты кристаллического строения.

Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее: "Механические и физические свойства материалов ", "Методы исследования, контроля и испытания материалов", "Новые материалы и технологии", "Теория и технология термической обработки", "Материалы и специальные покрытия».

### 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-1.1 Понимает физическую сущность процесса пластической деформации материала и его разрушения	Знать: - физические модели дислокационного, твердорастворного, зернограницного, дисперсионного упрочнения, механизмы пластической деформации, разрушения и механизмы разупрочнения; - стандартные и сертификационные методы испытания.
		Уметь: - распознавать физическую сущность процессов в технологиях получения, обработки и модификации материалов; - использовать базовые знания в процессе моделирования, теоретических и экспериментальных исследований; - выбирать из числа существующих методов, комплекс испытаний наиболее близкий к условиям работы материалов.
		Владеть: - специальной терминологией; физическими основами современных методов упрочнения и разупрочнения материалов, математическим аппаратом для определения механических



характеристик и методами  
стандартных механических  
испытаний материалов.

#### 4. Структура и содержание дисциплины

Модуль (раздел)	Вид учебной работы	Наименование тем занятий (учебной работы)	Семестр	Объем, ч.	Баллы	Интерактив, ч.	Формы текущего контроля (наименование оценочного средства)
Модуль 1.	Лек.1	Общие положения ПД. Скольжение, как основной механизм пластической деформации. Системы скольжения. Фактор Тейлора. Двойникование, системы двойникования. Влияние легирования на величину ЭДУ и критическое напряжения двойникования.	5	2	1		Вопросы к экзамену №2-3
Модуль 2	Лек.5	Основные механизмы упрочнения и их классификация. Влияние температуры на различные факторы упрочнения. Упрочнение легирующими элементами. Основные эффекты от легирования. Упрочнение атмосферами Коттрелла и Сузуки. Твердорастворное упрочнение. Теория Мота-Лабуша. Теории Флейшера и Сузуки	5	2	1		Вопросы к экзамену №9-11,13-14
Модуль 3	СР	Самостоятельная работа по изучению специальной литературы и оформлению лабораторных работ и практических заданий.	5	100	55		Вопросы к зачету №1-29 ЛР №1-2, Пр.3. №1-4
Модули 1-3	ПА	Промежуточная аттестация	5	0,25			
Модуль 1,2	Ср	Анкетирование	5		3		
		Контроль	5	3,75			
Модули 1-3	ИТ	Тест итоговый	5		40		
ИТОГО:				108	100		

Схема расчета итогового балла: Сумма баллов по всем учебным мероприятиям (текущий рейтинг).

## **5. Образовательные технологии**

При изучении курса «Физика прочности и пластичности» используются следующие образовательные технологии:

- технологии традиционного обучения в форме лекций, лабораторных работ и самостоятельной работы студентов;
- технология балльно-рейтинговой системы оценки успеваемости студентов, включая тестирования как форму промежуточного контроля знаний студентов.
- информационные технологии (визуальные лекции с использованием презентационного метода обучения).
- интерактивные технологии – диалоговое обучение, 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. Использование технологии развития критического мышления в форме лекций с элементами дискуссии, использование метода анализа конкретных ситуаций.

## **6. Методические указания по освоению дисциплины.**

Лабораторный практикум по дисциплине «Физика прочности и пластичности» для направления подготовки бакалавров 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов».

– Тольятти: ТГУ, 2019. – 88 с.

Авторы: Д.Л. Мерсон, Л.И. Попова, А.А. Разуваев, Д.А. Болдырев, М.Н. Тюрков,

## 7. Оценочные средства

### 7.1. Паспорт оценочных средств

Семестр	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
5	ПК-1	Тестовые задания № 1-500 Вопросы к зачету №1-29

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

#### 7.2.1. Комплект заданий к лабораторным работам.

#### №1 Деформация поликристаллов. Зернограничное упрочнение

##### Задание 1.1

1. Построить график зависимости  $\sigma_T = f\left(\frac{1}{\sqrt{d}}\right)$ , используя экспериментальные данные для медного сплава, согласно своему варианту (табл. 1.2).
2. Путём линейной аппроксимации определить  $\sigma_0$ .
3. Рассчитать коэффициент Петча через  $\sigma_0$  для 2-х размеров зерна и найти среднее значение.
4. Рассчитать коэффициент Петча через решение системы уравнений.
5. Провести сравнительный анализ 2-х методов вычисления коэффициента Петча, сделать вывод.
6. Сделать выводы о влиянии размера зерна на прочностные характеристики сплавов, объяснить причины эффекта зернограничного упрочнения.

##### Задание 1.2

1. Построить графики зависимостей  $\sigma_T = f\left(\frac{1}{\sqrt{d}}\right)$ , используя экспериментальные данные для сплавов Cu–Zn (варианты 1 и 2) и для сплавов Cu–Ge (варианты 3 и 4) различным содержанием легирующего элемента (таблица 1.2.).
2. Определить характер влияния ЭДУ на величину коэффициента Петча и объяснить причины такого влияния.

Задания выполняются по вариантам. Номер варианта выбираем согласно номеру в списке группы (таблица 1.1).

Таблица 1.1

№ варианта	№ в списке группы
1 вариант	1, 5, 9, 13
2 вариант	2, 6, 10, 14
3 вариант	3, 7, 11, 15
4 вариант	4, 8, 12, 16

Таблица 1.2

Зависимость предела текучести от размера зерна и концентрации легирующего элемента для медных сплавов

№ варианта	Концентрация легирующего элемента	ЭДУ МДж/м <sup>2</sup>	Размер зерна $d$ , мкм	Предел текучести $\sigma_{0,2}$ , МПа
1	0,042 % Zn	54	250	11
			200	20
			80	26
			40	32
2	25 % Zn	12	250	31
			200	48
			80	62
			40	78
3	0,1 % Ge	54	250	10
			200	16
			80	23,5
			40	29
4	5,7 % Ge	15	250	34
			200	44
			80	52,5
			40	62

### Рекомендации к выполнению лабораторной работы 1

1. При построении графиков зависимостей  $\sigma_T = f\left(\frac{1}{\sqrt{d}}\right)$  выбирать

максимально возможный масштаб, для более точного установления зависимости предела текучести от размера зерна.

2. Пример определения  $\sigma_0$  показан на рис. 1.1.

Значение  $\sigma_0$  определяет точка пересечения прямолинейной зависимости



$$\sigma_T = f\left(\frac{1}{\sqrt{d}}\right) \text{ с осью «}\sigma_T\text{»}.$$

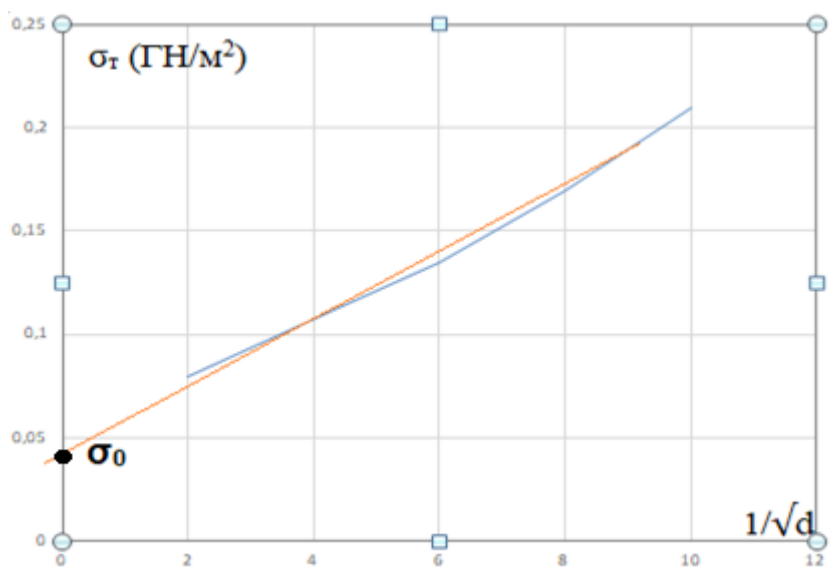


Рис. 1.1. График зависимости  $\sigma_T = f\left(\frac{1}{\sqrt{d}}\right)$  для сплава «Fe + 0,05 % C» с линейной аппроксимацией для определения  $\sigma_0$ .

3. При расчете величины  $\left(\frac{1}{\sqrt{d}}\right)$  использовать значение  $d$  в метрах.

4. Расчет коэффициента Петча через  $\sigma_0$  провести, подставляя значение  $\sigma_0$  в закон Холла – Петча.

5. Систему уравнений составить следующим образом:

$$1. \sigma_{0,2}(1) = \sigma_0 + K(1/\sqrt{d_1})$$

$$2. \sigma_{0,2}(2) = \sigma_0 + K(1/\sqrt{d_2})$$

Цифры 1 и 2 обозначают номера экспериментальных точек, выбранных на графике и соответствующих определенному размеру зерна.

Далее нужно выразить  $\sigma_0$  через  $\sigma_{0,2}$  и решить систему уравнений.

## №2 Влияние температуры и условий нагружения на процессы деформации металлических сплавов

### Задание 2

1. Изучить ГОСТ 9651-84 «Металлы. Методы испытаний на растяжение при повышенных температурах» (ИСО 783-89).

2. Сформулировать основные требования к испытаниям при повышенных температурах.

3. Используя экспериментальные диаграммы растяжения жаропрочного сплава Ni + 16 % Cr + 16 % Fe при различных температурах (рис. 5.1), определить модуль нормальной упругости, условный предел текучести, предел прочности и относительное удлинение для каждой температуры испытаний.

4. Построить графики зависимости механических характеристик от температуры.

5. Сделать выводы о влиянии температуры на механические характеристики сплава. Установить характерные отличия высокотемпературной диаграммы растяжения от диаграммы растяжения, получаемой при комнатной температуре.

6. Провести сравнительный анализ механических характеристик экспериментального сплава и сплава Инконель 718. Сделать выводы о применимости испытуемого сплава при высоких температурах.

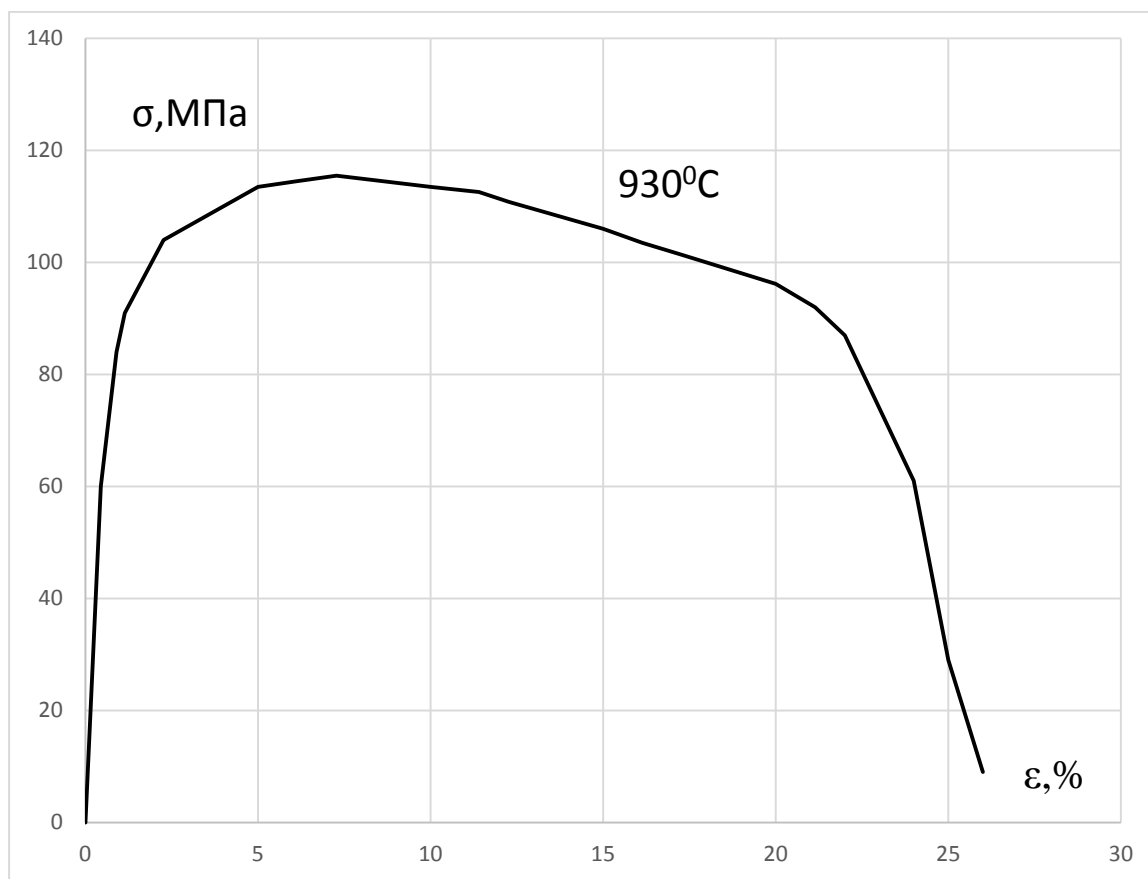


Рис. 2.1. Диаграммы растяжения жаропрочного сплава Ni + 16 % Cr + 16 % Fe при

температуре испытаний 930 °С

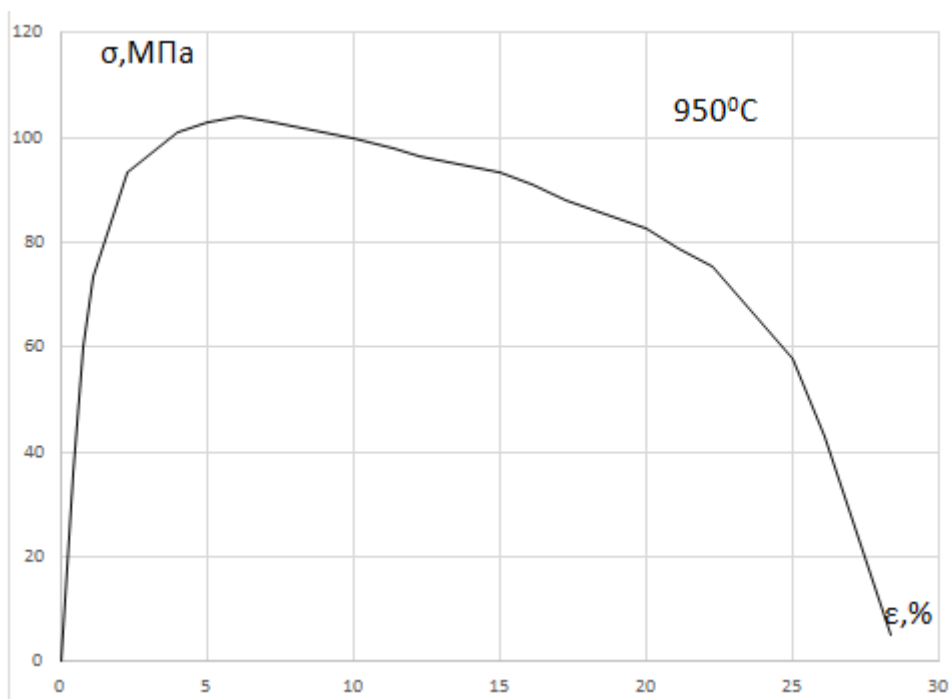


Рис. 2.2. Диаграммы растяжения жаропрочного сплава Ni + 16 % Cr + 16 % Fe при температуре испытаний 950 °С

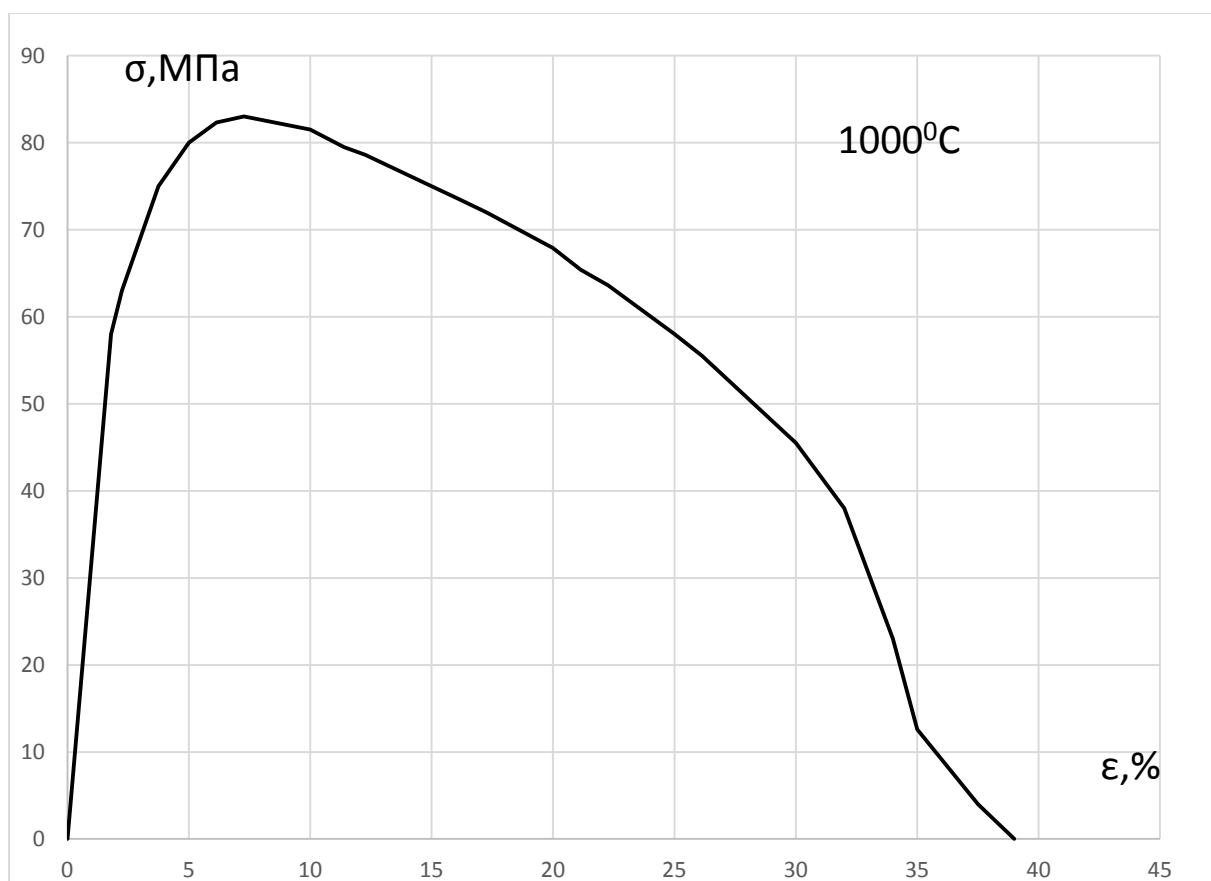


Рис. 2.3. Диаграммы растяжения жаропрочного сплава Ni + 16 % Cr + 16 % Fe при

температуре испытаний 1000 °С

## Рекомендации к лабораторной работе 2

1. Для определения модуля нормальной упругости выделить начальную прямолинейную область диаграммы растяжения. Для конкретной точки в этой области определить напряжение и деформацию в относительных единицах. Модуль Юнга вычислить по формуле  $E = \sigma/\epsilon$ .

При отсутствии площадки текучести определяют условный предел текучести  $\sigma_{0,2}$ . Для этого из начала координат  $O$  по оси деформации откладывается отрезок  $OE$ , соответствующий величине деформации 0,2 %, или 0,002-й относительной единицы деформации (рис. 4.2). Из точки  $E$  проводят прямую  $EP$ , параллельную  $OA$ . Точка пересечения прямой  $EP$  с диаграммой соответствует напряжению условного предела текучести.

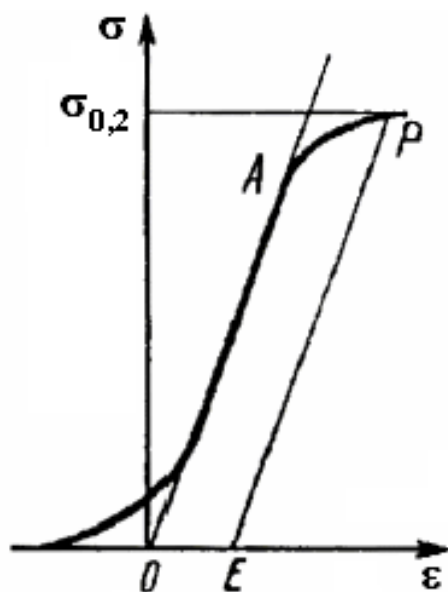


Рис. 2.1. К определению величины условного предела текучести

2. Предел прочности, или временное сопротивление разрыву  $\sigma_B$ , – это напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке на диаграмме растяжения.

3. Относительное удлинение после разрыва представляет собой отношение приращения расчетной длины образца к его первоначальной длине, выраженное в процентах:  $\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \cdot 100 \%$ .

Не имея образца, относительное удлинение можно примерно оценить по

диаграмме растяжения через конечную деформацию образца  $\varepsilon_k$ .

$$\delta \% = \varepsilon_k \cdot 100 \%$$

4. Механические характеристики прочности и пластичности сплава Инконель 718 найти в интернет-ресурсах.

### 7.2.2. Комплект заданий для практических работ.

#### Практическое задание 1. Упругое поведение твердых тел.

##### Задание 1.1

Вычислить напряжение всестороннего сжатия для заданного металла, при котором аллотропическое превращение происходило бы без изменения объёма.

Для решения задачи используйте справочные данные таблицы 1.1; коэффициенты заполнения (иначе коэффициенты компактности) решеток принять  $K^I = 0,74$  (ГЦК, ГПУ);  $K^I = 0,68$  (ОЦК).

Таблица 1.1. Атомные радиусы и модули упругости металлов.

№ Вар.	Элемент	Модификации И температура аллотропического превращения	Металлический атомный радиус, Å	G, ГПа	v
1	Fe	ОЦК (911 <sup>0</sup> С) ГЦК (1399 <sup>0</sup> С)	1,274	79,7	0,29
2	Ca	ГЦК (443 <sup>0</sup> С) ОЦК	1,411	7,5	0,31
3	Zr	ГПУ (863 <sup>0</sup> С) ОЦК	1,602	36,0	0,33
4	Ti	ГПУ (882 <sup>0</sup> С) ОЦК	1,462	43,4	0,32

G — модуль сдвига при комнатной температуре; v — коэффициент Пуассона. Атомные радиусы приведены для координационного числа 12 (R12). Переход к другим координационным числам:  $R_8 = 0,973 \cdot R_{12}$ ;  $R_6 = 0,96 \cdot R_{12}$ ;  $R_4 = 0,88 \cdot R_{12}$ .

### Задание 1.2.

Дать развернутые ответы на следующие вопросы.

№ варианта	Вопросы.
1	Опишите зависимость модуля Юнга от температуры. Укажите математическую формулу, отражающую данную зависимость. Объясните причины такой зависимости. Для каких сплавов наблюдается аномальная зависимость модуля Юнга от температуры? С каким физическим явлением это связано?
2	Как изменяются модули упругости при легировании сплавов? Объясните причины таких изменений. В каком из кристаллографических направлений ГЦК-решётки модуль упругости будет выше и почему?
3	Перечислите факторы, влияющие на модули упругости. Какой фактор является определяющим? Какая связь наблюдается между модулем упругости и температурой плавления?
4	Покажите, что при небольших одноосных напряжениях идеально упругого материала коэффициент Пуассона равен 0,5. Каковы особенности поведения эластомеров в упругой области деформации?

Задание выполняется индивидуально, по вариантам. Выбор нужного варианта осуществляется по номеру в списке группы (табл. 1.3).

Таблица 1.3

№ варианта	№ в списке группы
1 вариант	1,5,9,13
2 вариант	2,6,10,14
3 вариант	3,7,11,15
4 вариант	4,8,12,16

### Рекомендации к выполнению задания 1.

1. При решении задачи 1 использовать закон Гука для всестороннего сжатия:

$$\sigma = K \frac{\Delta V}{V}$$

2. Модуль Юнга  $E$  можно найти по формуле  $E = 2G(1 + \nu)$ .

3. Изменение объема рассчитывать при условии увеличения объема при

аллотропическом превращении и с учетом базиса решето

## Практическое задание 2

### Физические основы пластичности.

#### Задание 2.1

Докажите с использованием рис. 2.1, что величина деформации двойникованием в ОЦК-структурах составляет 0,707.

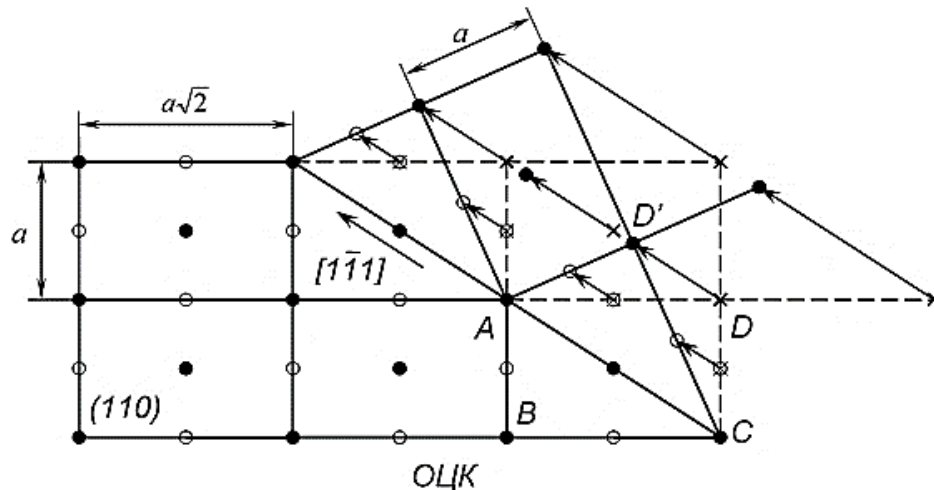


Рис. 2.1. Механическое двойникование для ОЦК-кристаллов, система  $(110) [1\bar{1}1]$ : ● – плоскость чертежа, ○ – следующая плоскость над чертежом, х – исходное положение

#### Задание 2.2.

Рассчитайте минимальное содержание легирующего элемента (в ат. %) в Cu, при котором возможна деформация двойникованием, если известны предельные растворимости (таблица 2.1) и тот факт, что для реализации двойникования  $\gamma_{\text{дв}}$  должна быть меньше 20 мДж/м<sup>2</sup>.

Таблица 2.1. Предельная растворимость некоторых элементов в меди.

№ варианта	1	2	3	4
Легирующий элемент	Zn	Ga	Ge	Mn
Предельная растворимость в Cu	25 ат.%	14,2 ат.%	9 ат.%	13,6 ат.%

Задание 1.6 и 2.2. выполняется индивидуально, по вариантам. Выбор нужного варианта осуществляется по номеру в списке группы (табл. 2.2).

Таблица 2.2.

№ варианта	№ в списке группы
1 вариант	1,5,9,13
2 вариант	2,6,10,14
3 вариант	3,7,11,15
4 вариант	4,8,12,16

## Рекомендации к выполнению задания 2

1. При выполнении задания 2.1.а используйте формулу для деформации сдвига 2.1.

$$g = tg \alpha = \frac{x}{y} \quad (2.1),$$

Где  $g$ - величина деформации, « $x$ »- величина сдвига, на рисунке это отрезок  $|DD^I|$ .

Величина « $y$ » – это расстояние до плоскости двойникования (иначе «плечо» сдвига). Для определения величины « $y$ » необходимо провести перпендикуляр к плоскости двойникования из точки  $D$ .

2. При выполнении задания 2.2. используйте математическую зависимость величины ЭДУ от концентрации легирующего элемента для твёрдых растворов на основе  $Cu$  (формула 2.2).

$$\ln \gamma = \ln \gamma_{\partial y(Cu)} - K \left( \frac{c/c_{max}}{1+c/c_{max}} \right)^2 \quad (2.2)$$

где  $\gamma_{\partial y(Cu)}$  – ЭДУ для чистой  $Cu$ , равная  $57 \pm 8$  мДж/м<sup>2</sup>,

$K$  – константа, равная  $12,5 \pm 1$  мДж/м<sup>2</sup> для  $Cu$ ,

$c$  – концентрация легирующего элемента в твёрдом растворе,

$c_{max}$  – предел растворимости данного легирующего элемента в твёрдом растворе.

## Практическое задание 3

**Влияние температуры нагрева на структуру и свойства холоднодеформированных металлов.**

### Задание 3.1.

1. Рассчитать температуру рекристаллизационного порога для технически чистой  $Cu$ . Коэффициент в формуле Бочвара принять 0,45. Температура плавления



Cu:  $T_{пл} = 1083^{\circ}\text{C}$ .

2. Назначить температуру рекристаллизационного и дорекристаллизационного отжига для технической чистой Cu.

3. Определите степень деформации Cu-образцов, подвергнутых нагрузке 6, 8 и 10 т, используя данные о размерах образцов (таб. 3.1) и заполнить таблицу 3.2.

4. Построить график зависимости твёрдости от степени пластической деформации, объяснить причины таких изменений твердости.

5. Используя экспериментальные данные таблицы 3.2, построить графики зависимости твёрдости деформированных медных образцов после дорекристаллизационного и рекристаллизационного отжига от степени деформации.

6. Провести сравнительный анализ твердости деформированных и отожженных образцов. Объяснить причины изменений механических свойств, через структурные изменения, происходящие в деформированных образцах при нагреве.

7. Привести схематическое изображение микроструктур образцов после деформации и отжига.

Таблица 3.1. Толщина и твердость деформированных медных образцов.

№	Нагрузка Р, т	Толщина образца h, мм	Деформация $\epsilon$ , %	Твердость HRB
1(исходный)	0	5,23		44
2	6	4,45		64
3	8	4,06		87
4	10	3,91		94

Таблица 3.2. Твердость деформированных образцов после дорекристаллизационного и рекристаллизационного отжига.

№	Нагрузка, Р (т)	Деформация, $\epsilon$ %	Температура отжига, $T^{\circ}\text{C}$	Твердость HRB
1	0		-	44
2	6		250	58
			400	45
3	8		250	79
			400	44

4	10		250	82
			400	44

### Задание 3.2.

Дать развернутые ответы на следующие вопросы.

№ варианта	Вопросы.
1	Опишите сущность процесса полигонизации. В чем разница предрекристаллизационной и стабилизирующей полигонизации?
2	Перечислите факторы, влияющие на температурный порог рекристаллизации. Каково направление их влияния?
3	Перечислите характерные особенности горячей пластической деформации. В каком случае при горячей деформации наблюдается снижение напряжений течения после некоторого начального упрочнения материалов?
4	Опишите влияние частиц вторичных фаз на рекристаллизационные процессы и температурный порог рекристаллизации.

Задание 3.2. выполняется индивидуально, по вариантам. Выбор нужного варианта осуществляется по номеру в списке группы (табл. 3.3).

Таблица 3.3.

№ варианта	№ в списке группы
1 вариант	1,5,9,13
2 вариант	2,6,10,14
3 вариант	3,7,11,15
4 вариант	4,8,12,16

### Рекомендации к выполнению задания 3

1. Температурный порог рекристаллизации для технически чистых металлов рассчитывается по формуле Бочвара:  $T_r = 0,45T_{пл}$  (К). После вычислений температуру рекристаллизационного порога переводят из кельвинов в градусы.

2. Температуру рекристаллизационного отжига как термической обработки принимают на  $60 \div 100^\circ\text{C}$  выше температурного порога рекристаллизации.

3. Температуру дорекристаллизационного отжига принять как 0,6 от  $T^0C$  рекристаллизационного отжига.

4. Величину деформации рассчитать по формуле

$$\varepsilon = \frac{h_{исх} - h_{деф}}{h_{исх}} \cdot 100\%.$$

5. Графики зависимости твердости от величины деформации после холодной деформации, дорекристаллизационного и рекристаллизационного отжигов построить в одной координатной плоскости для удобства сравнительного анализа

6..Таблица 3.1. Толщина и твердость деформированных медных образцов (заполнить колонку  $\varepsilon$ , %).

№	Нагрузка Р, т	Толщина образца h, мм	Деформация $\varepsilon$ , %	Твердость HRB
1(исходный)	0	5,23		44
2	6	4,45		64
3	8	4,06		87
4	10	3,91		94

7..Таблица 3.2. Твердость деформированных образцов после дорекристаллизационного и рекристаллизационного отжигов.

№	Нагрузка, Р (т)	Деформация, $\varepsilon$ %	Температура отжига, $T^0C$	Твердость HRB
1	0		-	44
2	6		250	58
			400	45
3	8		250	79
			400	44
4	10		250	82
			400	44

## Практическое задание 4

### Вязко- хрупкий переход.

#### Задание 4.1.

Определение критических температур хрупкости.

1. Построить график зависимости ударной вязкости от температуры.

2. Определить температуру, при которой сталь имеет минимально допустимое значение ударной вязкости.
3. Рассчитать площадь вязкой составляющей в изломе образцов в %. Размеры образцов соответствуют образцу Менаже 1-го типа (Рис 4.1, таблица 4.1.)
4. Построить график зависимости площади вязкой составляющей в изломе от температуры согласно своему варианту.
5. Определить верхнюю и нижнюю температуры хрупкости. Определить температуру вязко- хрупкого перехода ( $T_{50}$ )
6. Сделать вывод о пригодности стали для эксплуатации при отрицательных температурах.

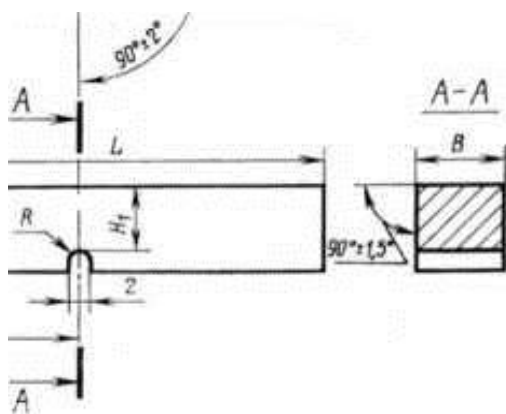


Рис.4.1. Эскиз образца Менаже для ударных испытаний.

Таблица 4.1. Размеры образцов Менаже.

Концентратор	Тип	$R$	$L + 0,6$	$B$	$H \pm$	$H_1$
		мм				
$U$ (Менаже)	1	$1 \pm 0,1$	55	$10 \pm 0,1$	10	$8 \pm 0,1$
	2			$7,5 \pm 0,1$	10	$8 \pm 0,1$
	3			$5 \pm 0,05$	10	$8 \pm 0,1$

Задания 4.1 и 4.2. выполняются индивидуально, по вариантам. Выбор нужного варианта осуществляется по номеру в списке группы (табл. 4.2).

Таблица 4.2.

№ варианта	№ в списке группы
------------	-------------------

1 вариант	1,5,9,13
2 вариант	2,6,10,14
3 вариант	3,7,11,15
4 вариант	4,8,12,16

#### Варианты заданий 4.1.

Вариант1. Сталь 17Г1С (нормализация);  $KCU_{min} = 48 \text{ Дж/см}^2$

$t_{исп}, ^\circ\text{C}$	+100	+20	-20	-40	-50	-80	-196
$KCU, \text{Дж/см}^2$	79	75	67	60	54	45	10
$F_{xp} (\text{мм}^2)$	2	5	10	21	30	48	74
$F_B (\text{мм}^2)$							

Вариант 2. Сталь 50 (закалка + высокий отпуск);  $KCU_{min} = 50 \text{ Дж/см}^2$

$t_{исп}, ^\circ\text{C}$	+100	+20	-20	-40	-50	-80	-196
$KCU, \text{Дж/см}^2$	82	77	67	58	52	37	8
$F_{xp} (\text{мм}^2)$	4	8	14	24	35	52	75
$F_B (\text{мм}^2)$							

Вариант3. Сталь 09Г2С (без ТО),  $KCU_{min} = 30 \text{ Дж/см}^2$

$t_{исп}, ^\circ\text{C}$	+100	+20	-20	-40	-50	-80	-196
$KCU, \text{Дж/см}^2$	37	32	27	22	20	10	1
$F_{xp} (\text{мм}^2)$	6	13	40	47	52	67	77
$F_B (\text{мм}^2)$							
%B							

Вариант4. Сталь 40ХН (закалка в масло+высокий отпуск),  $KCU_{min} = 60 \text{ Дж/см}^2$

$t_{исп}, ^\circ\text{C}$	+100	+20	-20	-40	-50	-80	-196
$KCU, \text{Дж/см}^2$	120	116	110	93	84	68	14
$F_{xp} (\text{мм}^2)$	0	2	11	18	24	30	65
$F_B (\text{мм}^2)$							
%B							

#### Задание 4.2.

Определение работы распространения трещины.

1. Рассчитать среднее значение  $KCU$  и  $KCV$  по экспериментальным данным, представленным ниже в таблице по вариантам.
2. Построить график зависимости ударной вязкости от радиуса надреза

образцов для испытаний на ударный изгиб.

3. Определить работу зарождения и распространения трещины по методу Гуляева.

4. Сравнить экспериментальные и справочные данные.

5. Сделать вывод о сопротивлении материала зарождению и распространению трещин; о его пригодности к эксплуатации в условиях динамических нагрузок; о надежности материала.

Варианты заданий 4.2.

Вариант 1. Ударная вязкость для образцов из стали 20ГЛ после закалки с  $890^{\circ}\text{C}$  и отпуска  $450^{\circ}\text{C}$  в зависимости от вида надреза.

KCU (Дж/см <sup>2</sup> )	39	50	42
KCV (Дж/см <sup>2</sup> )	9	12	10

Вариант 2. Ударная вязкость для образцов из стали 38ХМА после закалки с  $850^{\circ}\text{C}$  и отпуска  $600^{\circ}\text{C}$ .

KCU (Дж/см <sup>2</sup> )	128	131	137
KCV (Дж/см <sup>2</sup> )	50	55	62

Вариант 3. Ударная вязкость для образцов из стали 45ХН2МФА после закалки с  $850^{\circ}\text{C}$  в масло и отпуска  $600^{\circ}\text{C}$  в зависимости от вида надреза.

KCU (Дж/см <sup>2</sup> )	79	73	81
KCV (Дж/см <sup>2</sup> )	48	43	45

Вариант 4. Ударная вязкость для образцов из стали 50 после закалки и отпуска  $500^{\circ}\text{C}$  в зависимости от вида надреза.

KCU (Дж/см <sup>2</sup> )	85	92	88
KCV (Дж/см <sup>2</sup> )	53	62	56

## Рекомендации к выполнению задания 4

1. Площадь вязкой составляющей в изломе образцов - В % рассчитывается по формуле:

$$\%B = \frac{F_{\text{общ}} - F_{\text{хр}}}{F_{\text{общ}}} 100\%$$

2.  $F_{\text{общ}}$  – площадь сечения образца в области надреза рассчитывается как,  
 $F_{\text{общ}} = B \cdot H_1$  (см табл. 4.1).

3. Верхняя температура хрупкости определяется как температура, соответствующая 90% вязкой составляющей в изломе. Нижняя температура хрупкости определяется как температура, соответствующая 10% вязкой составляющей в изломе. Температура вязко- хрупкого перехода ( $T_{50}$ ) определяется как температура, соответствующая 50% вязкой составляющей в изломе.

4. Согласно ГОСТ 9454-78 «Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах»

радиус надреза для образцов KCU = 1мм ;

радиус надреза для образцов KCU = 0,25мм.

4. Работа зарождения и распространения трещины по методу Гуляева определяется экстраполяции графика зависимости ударной вязкости от радиуса надреза на нулевое значение радиуса (рис. 4.2).

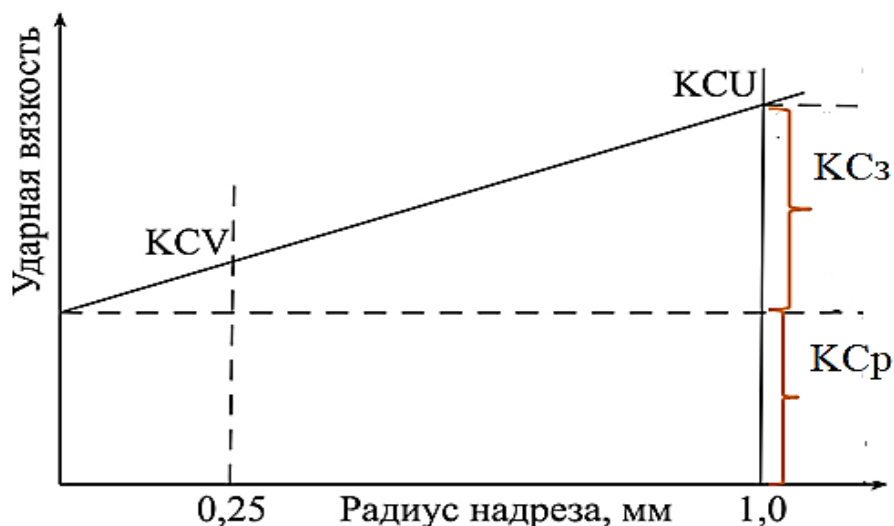


Рис.4.2. Зависимость ударной вязкости от радиуса надреза образца и схема определения энергии зарождения (KCз) распространения (KСр) трещины по методу Гуляева

### Критерии оценки:

– Максимальное количество баллов выставляется студенту, если лабораторная и практическая работы оформлены в полном объеме, правильно; присутствует оригинальный развернутый вывод;

-75% от максимального количества баллов выставляются студенту, если

работы оформлены в полном объеме, но присутствуют незначительные ошибки и (или) вывод по работе не полный.

-50% от максимального количества баллов выставляются студенту, если

полнота и правильность оформления работ составляет менее 80%, вывод неверный или отсутствует.

-25% от максимального количества баллов выставляются студенту, если

полнота и правильность оформления работы составляет менее 60-70%, вывод отсутствует, и еще может быть уменьшена, если полнота и правильность оформления работ составляет менее 60%

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

### 7.3.1. Вопросы к промежуточной аттестации

Семестр 3

№ п/п	Вопросы к зачету
1	Упругое поведение твердых тел. Модули упругости. Влияние различных факторов на модули упругости.
2	Скольжение, как основной механизм пластической деформации. Системы скольжения. Макроскопический аспект деформации монокристаллов. Закон Шмида. Фактор Тейлора.
3	Двойникование, как механизм пластической деформации. Способы образования двойников. Системы двойникования. Особенности двойникования. Влияние легирования на величину ЭДУ и критическое напряжения двойникования.
4	Стадийность (5 стадий) пластической деформации на примере ГЦК кристаллов: напряжение течения, коэффициент упрочнения, характерные особенности.
5	Отличия деформации ГПУ и ОЦК кристаллов. Особенности диаграмм деформаций, связанных с различными эффектами.
6	Структурные уровни деформации. Понятие дислокационного ансамбля. Классификация дислокационных субструктур. Факторы, определяющие формирование ДСС. Два основных пути эволюции ДСС
7	Деформация поликристаллов, усложнение деформаций, критерий Мизеса. Макроскопический аспект пластической деформации поликристаллов.
8	Микроскопический аспект ПД поликристаллов. Взаимодействие дислокаций с границами зерен. Движение границ. Закон Холла-Петча. Токсичности деформации.
9	Основные механизмы упрочнения и их классификация. Влияние температуры на различные факторы упрочнения.
11	Силы трения кристаллической решетки. Напряжение Пайерса-Набарро и его температурная зависимость.
12	Упрочнение дальнедействующими и близкодействующими полями напряжений (деформационное упрочнение).
13	Упрочнение легирующими элементами. Основные эффекты от легирования. Упрочнение атмосферами Коттрелла и Сузуки.



14	Твердорастворное упрочнение. Теория Мота-Лабуша. Теории Флейшера и Сузуки.
15	Теория деформационного старения. Динамическое деформационное старение. Ближний порядок. Параметры ближнего порядка.
16	Упрочнение частицами вторичных фаз. Взаимодействие дислокаций с неперерезаемыми частицами. Модель Орована. Упрочнение при перерезании частиц вторичных фаз. Теория Келли.
17	Возврат и рекристаллизация. Динамическая рекристаллизация. Карты процессов.
18	Сверхпластичность. Виды и условия проявления.
19	Классификации видов разрушения. Хрупкое разрушение. Теория Гриффитса
20	Критическая интенсивность напряжений; напряжения и деформации в окрестности трещины. Распространение трещин при хрупком разрушении.
21	Вязкое разрушение. Типы вязкого разрушения. Зарождение и распространение вязких трещин.
22	Макро- и микростроение изломов, их происхождение. Качественные и количественные методы анализа элементов строения изломов и их использование для изучения процессов разрушения.
23	Динамические испытания. Схемы и образцы. Методика определения ударной вязкости. Оценка склонности к хрупкому разрушению и хладноломкости по результатам ударных испытаний.
24	Температурно-временные условия деформации и разрушения. Гомологические температуры и напряжения. Ползучесть и релаксация напряжений..
25	Механизмы ползучести и условия их проявления. Карты механизмов деформации и дислокационная структура при ползучести.
26	Диаграммы низкотемпературной и высокотемпературной ползучести. Испытания на ползучесть, определение механических характеристик ползучести и длительной прочности.
27	Неупругие явления в упругой области. Виды внутреннего трения. Механизмы внутреннего трения.
28	Теория релаксационных явлений. Методы внутреннего трения и меры внутреннего трения.
29	Материалы с особыми упругими свойствами и заданной величиной внутреннего трения.

### 7.3.2. Критерии и нормы оценки

Семестр	Форма проведения промежуточной аттестации	Критерии и нормы оценки	
5	зачет	«зачтено»	Итоговая сумма баллов 55 и более.
		«не зачтено»	Сумма баллов до 54 баллов включительно.

## 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	Солнцев Ю.П. [и др.]; под ред. Ю.П. Солнцева	Материаловедение: учебник для ВУЗов/Ю.П.Солнцев,Е.И.Пряхин-7-е изд.стер.-Санкт-Петербург: ХИМИЗДАТ,2024-783с. [Электронный ресурс]	Учебник	2024	ЭБС "IPRbooks"
2	Земсков Ю.П.	Материаловедение: учебное пособие/Ю.П.Земсков-Изд.2-е,стер.- Санкт-Петербург: Лань,2024-188с.[Электронный ресурс]	Учебное пособие	2024	ЭБС «Лань»
3	Д. А. Болдырев, С. В. Давыдов, Л. И. Попова, М. Н. Тюрков	Материаловедение : учебное пособие / Д. А. Болдырев, С. В. Давыдов, Л. И. Попова, М. Н. Тюрков. — Вологда : Инфра-Инженерия, 2020. — 424 с. — ISBN 978-5-9729-0417-4.	Учебное пособие	2020	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
----------	---------------------	----------------------	---	-------------	--

№ п/п	Авторы, составители	Заглавие (заголовок)	Тип (учебник, учебное пособие, учебно- методическое пособие, практикум, др.)	Год издания	Количество в научной библиотеке / Наименование ЭБС
1	Третьяков А. Ф.	Материаловедение и технологии обработки материалов.	Учебное пособие	2014	5
2	И.К.Кириллова	Конструкционные материалы. Их свойства и применение.[Электронный ресурс]	Учебное пособие.	2016	ЭБС "IPRbooks"
3	Г.В. Клевцов, Н.А. Клевцова, О.А. Фролова	Физика и механика разрушения [Электронный ресурс]	Электронный учебник	2014	Репозиторий ТГУ
4	Ю.П. Солнцев, Е. И. Пряхин, В.Ю. Пирайнен	Специальные материалы в машиностроении [Электронный ресурс]	Учебник	2014	ЭБС "IPRbooks"
5	Штремель М. А.	Механические свойства металлов : лаб. практикум : учеб. пособие. Ч.2. Упругость. Технологические испытания. Поверка / М. А. Штремель, М. Ю. Беломытцев. - Гриф УМО. - Москва: Учеба, 2007. - 63 с.	Учебное пособие	2007	10

### 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	Реквизиты договора (дата, номер, срок действия)
1	Windows:  WinPro 10 RUS Upgrd OLP NL Acdmc	договор № 757 от 04.07.2018г., срок действия – бессрочно;  контракт №1653 от 14.12.2018, срок действия – бессрочно;
2	Office Standart:  Office Standart 2016 Russian	договор № 757 от 04.07.2018г., срок действия - бессрочно;  контракт № 727 от 20.07.2016, срок действия – бессрочно;
3	Mirapolis Human Capital Management	лицензионный договор № 1346 от 24.12.2024, срок действия – до 31.12.2025 включительно

### 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	Стол ученические двухместные , столы ученические, стол компьютерный, стол преподавательский, ПК ,доска трехсекционная аудиторная (меловая), стул преподавательский, проектор мультимедийный ,экран для проектора, тумба выкатная
2	Лаборатория «Металлография». Учебная аудитория для проведения	Стол преподавательский, стол ы ученические двухместные, стулья, доска

№ 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
	лабораторных работ.Е-203	аудиторная (меловая, трехстворчатая), столы лабораторные, микроскопы металлографические.
3	Лаборатория "Термообработка материалов" Учебная аудитория для проведения лабораторных работ.Е-105	Стол�ы ученические двухместные , стулья ученические , доска аудиторная (меловая), шкафы для учебных пособий, столы лабораторные, микроскоп металлографический, щит силовой
4	Помещение для самостоятельной работы обучающихся Д-409	Стол�ы-парты двухместные, стулья, стол преподавательский-, стул преподавательский, передвижная доска, экран, процессор, проектор, компьютерные столы, компьютеры для студентов с выходом в сеть интернет, компьютер преподавателя.
5	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа. Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа. 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. Г-326	Стол�ы ученические (моноблоки) двухместные, стол преподавательский, стул преподавательский, доска аудиторная (меловая). Экран навесной, стационарный проектор, процессор, мышь компьютерная, пульт для проектора
6	Аудиторию для проведения веб-конференций УЛК-303	Стол, стулья, компьютер, камера, микрофон.