



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»



УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИММиМ  
А.С. Савинов

09.02.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

***СОВРЕМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ  
МАТЕРИАЛЫ***

Направление подготовки (специальность)  
22.04.02 Металлургия

Направленность (профиль/специализация) программы  
Искусственный интеллект в металлургии

Уровень высшего образования - магистратура

Форма обучения  
очная

Институт/ факультет	Институт металлургии, машиностроения и материалобработки
Кафедра	Литейных процессов и материаловедения
Курс	2
Семестр	3

Магнитогорск  
2023 год

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО - магистратура по направлению подготовки 22.04.02 Металлургия (приказ Минобрнауки России от 24.04.2018 г. № 308)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Литейных процессов и материаловедения  
08.02.2023, протокол № 6

Зав. кафедрой  Н.А. Феоктистов

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИММиМ  
09.02.2023 г. протокол № 5

Председатель  А.С. Савинов

Рабочая программа составлена:  
профессор кафедры ЛПиМ, д-р техн. наук

 Н.В. Кошчева

Рецензент:  
доцент кафедры ТОМ, канд. техн. наук

 Ю.Ю. Ефимова

## Лист актуализации рабочей программы

---

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2024 - 2025 учебном году на заседании кафедры Литейных процессов и материаловедения

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Н.А. Феоктистов

---

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2025 - 2026 учебном году на заседании кафедры Литейных процессов и материаловедения

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Н.А. Феоктистов

### 1 Цели освоения дисциплины (модуля)

Изложение представлений о строении, свойствах и применении современных конструкционных и инструментальных материалов, методах управления комплексом свойств и принципах их выбора для практического применения в профессиональной деятельности.

### 2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина Современные конструкционные и инструментальные материалы входит в часть учебного плана формируемую участниками образовательных отношений образовательной программы.

Для изучения дисциплины необходимы знания (умения, владения), сформированные в результате изучения дисциплин/ практик:

Современные методы исследования материалов и процессов

Прикладная термодинамика и кинетика

Знания (умения, владения), полученные при изучении данной дисциплины будут необходимы для изучения дисциплин/практик:

Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы

Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена

Производственная практика, научно-исследовательская работа

### 3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения

В результате освоения дисциплины (модуля) «Современные конструкционные и инструментальные материалы» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции
ПК-4 Способен проводить анализ технологических процессов для выработки предложений по управлению качеством и свойствами продукции	
ПК-4.1	Знает: современные методы исследования материалов и процессов; металловедческие основы технологических процессов производства изделий; современные конструкционные и инструментальные материалы; методы повышения качества продукции модифицированием их поверхности; технологические процессы, их влияние на качество продукции; технологические процессы, принципы их компьютерного моделирования и влияние на качество продукции; технологические процессы, принципы построения их цифровых двойников; автоматизированные технологические агрегаты прокатного производства
ПК-4.2	Умеет: проводить анализ технологических процессов для выработки предложений по управлению качеством и свойствами продукции, используя современные методы исследования материалов и процессов, компьютерное моделирование и цифровые технологии
ПК-4.3	Имеет практический опыт: анализа технологических процессов для выработки предложений по управлению качеством и свойствами продукции, используя современные методы исследования материалов и процессов, компьютерное моделирование; анализа технологических процессов для разработки требований к цифровому двойнику
ПК-5 Способен исследовать применение интеллектуальных систем для различных предметных областей	
ПК-5.1	Исследует направления применения систем искусственного интеллекта для различных предметных областей

	<p>Знает: направления развития систем искусственного интеллекта, методы декомпозиции решаемых задач с использованием искусственного интеллекта;</p> <p>Умеет: осуществлять декомпозицию решаемых задач с использованием искусственного интеллекта</p>
ПК-5.2	<p>Выбирает комплексы методов и инструментальных средств искусственного интеллекта для решения задач в зависимости от особенностей предметной области</p> <p>Знает: методы и инструментальные средства систем искусственного интеллекта, критерии их выбора и методы комплексирования в рамках применения интегрированных гибридных интеллектуальных систем различного назначения;</p> <p>Умеет: выбирать и комплексно применять методы и инструментальные средства систем искусственного интеллекта, критерии их выбора;</p> <p>Имеет практический опыт: применения инструментальных средств систем искусственного интеллекта в металлургических процессах и металловедении; написания программ на языке Python; подбора инструментальных средств систем искусственного интеллекта для металлургической промышленности</p>

#### 4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц 180 акад. часов, в том числе:

- контактная работа – 38 акад. часов;
- аудиторная – 38 акад. часов;
- внеаудиторная – 0 акад. часов;
- самостоятельная работа – 106 акад. часов;
- в форме практической подготовки – 0 акад. час;
- подготовка к экзамену – 36 акад. час

Форма аттестации - экзамен

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			Самостоятельная работа студента	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код компетенции
		Лек.	лаб. зан.	практ. зан.				
1. Введение								
1.1 Современные тенденции развития создания и применения конструктивных и инструментальных материалов.	3	2				Изучение теоретического материала	не предусмотрено	ПК-4.1, ПК-4.2, ПК-4.3, ПК-5.1, ПК-5.2
Итого по разделу		2						
2. Основные понятия в области создания высокопрочных низколегированных сталей (ВНС)								
2.1 Актуальность производства высокопрочных низколегированных сталей (ВНС). Области применения. Из истории создания и применения ВНС и микролегированных сталей (МЛС). Классификация введения малых добавок легирующих элементов (ЛЭ). Основные концепции создания ВНС и МЛС	3	2		2	10	Изучение теоретического материала; подготовка к контрольным мероприятиям	Тестирование Выполнение индивидуального задания	ПК-4.1, ПК-4.2, ПК-4.3, ПК-5.1, ПК-5.2
Итого по разделу		2		2	10			
3. Теоретические основы упрочнения ВНС								
3.1 Механизмы упрочнения низкоуглеродистых сталей. Влияние легирующих элементов на структуру и свойства сталей	3	2		2	14	Изучение теоретического материала; подготовка к контрольным мероприятиям	Тестирование Выполнение индивидуального задания	ПК-4.1, ПК-4.2, ПК-4.3, ПК-5.1, ПК-5.2

Итого по разделу	2		2	14			
4. Основы технологии производства ВНС							
4.1 Основные понятия в области технологии производства высокопрочных сталей. Термомеханическая обработка (ТМО). Контролируемая прокатка (КП). Контролируемая прокатка с ускоренным охлаждением (КП с УО)	3	2	2/2И	14	Изучение теоретического материала; подготовка к контрольным мероприятиям	Тестирование Выполнение индивидуального задания	ПК-4.1, ПК-4.2, ПК-4.3, ПК-5.1, ПК-5.2
Итого по разделу	2		2/2И	14			
5. Выбор микролегирующих элементов (МЛЭ)							
5.1 Роль микролегирующих элементов (МЛЭ). Особенности МЛЭ. Формирование и растворение карбидов и нитридов МЛЭ в аустените.	3	2	2/2И	14	Изучение теоретического материала; подготовка к контрольным мероприятиям	Тестирование Выполнение индивидуального задания	ПК-4.1, ПК-4.2, ПК-4.3, ПК-5.1, ПК-5.2
Итого по разделу	2		2/2И	14			
6. Влияние МЛЭ на формирование структуры и свойств							
6.1 Влияние МЛЭ на размер зерна аустенита и кинетику рекристаллизации горячедеформированного аустенита. Особенности $\gamma$ - $\alpha$ превращения в МЛС. Дисперсионное упрочнение в МЛС	3	2	4/2И	14	Изучение теоретического материала; подготовка к контрольным мероприятиям	Тестирование Выполнение индивидуального задания	ПК-4.1, ПК-4.2, ПК-4.3, ПК-5.1, ПК-5.2
Итого по разделу	2		4/2И	14			
7. Основные группы конструкционных ВНС							
7.1 Микролегируемые высокопрочные трубные стали и стали для автомобилестроения. Микролегируемая литая конструкционная сталь. Микролегируемая инструментальная сталь.	3	4	4	20	Изучение теоретического материала; подготовка к контрольным мероприятиям	Тестирование Выполнение индивидуального задания	ПК-4.1, ПК-4.2, ПК-4.3, ПК-5.1, ПК-5.2
Итого по разделу	4		4	20			
8. Основные группы современных инструментальных материалов							

8.1	Классификация современных инструментальных материалов. Инструментальные стали. Твердые сплавы. Минералокерамика. Сверхтвердые материалы. Области применения. Особенности применения. Выбор инструментального материала или износостойкого покрытия	3	3		3	20	Изучение теоретического материала; подготовка к контрольным мероприятиям	Тестирование Выполнение индивидуального задания	ПК-4.1, ПК-4.2, ПК-4.3, ПК-5.1, ПК-5.2
Итого по разделу		3			3	20			
9. Экзамен									
9.1	Экзамен по курсу	3					Изучение теоретического материала; подготовка к контрольным мероприятиям	Экзамен	ПК-4.1, ПК-4.2, ПК-4.3, ПК-5.1, ПК-5.2
Итого по разделу									
Итого за семестр		19			19/6И	106		экзамен	
Итого по дисциплине		19			19/6И	106		экзамен	



## **5 Образовательные технологии**

При проведении учебных занятий преподавание дисциплины «Современные конструкционные и инструментальные материалы» реализуется с использованием результатов научных исследований, проводимых на кафедре, а также в центре коллективного пользования МГТУ, в том числе с учетом региональных особенностей профессиональной деятельности выпускников и потребностей работодателей (ММК, ММК-МЕТИЗ, Белмаг и др.).

В процессе преподавания дисциплины «Современные конструкционные и инструментальные материалы» применяются традиционная, интерактивная и информационно-коммуникационная образовательные технологии. При использовании традиционных образовательных технологий учебные занятия выполняются в форме информационных лекций и практических работ. Эта технология сочетается с использованием информационно-коммуникационных образовательных технологий, когда лекции проводятся в форме лекций-визуализаций, при реализации которых изложение содержания сопровождается презентацией с демонстрацией учебных материалов, представленных в различных знаковых системах, в том числе иллюстративных, графических, аудио- и видеоматериалов.

Лекционный материал закрепляется в ходе практических занятий, на которых выполняются групповые или индивидуальные задания по пройденной теме. При проведении практических работ используется интерактивные образовательные технологии, что предполагает активное и нелинейное взаимодействие всех участников и достижение на этой основе лично значимого для них образовательного результата. Используется также разбор конкретных ситуаций с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

Реализация компетентного подхода предусматривает использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

Самостоятельная работа студентов направлена на самостоятельное изучение учебной и научной литературы, а также самостоятельную проработку тем в процессе

## **6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Представлено в приложении 1.

## **7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации**

Представлены в приложении 2.

## **8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)**

### **а) Основная литература:**

1. Галимов, Э. Р. Современные конструкционные материалы для машиностроения: учебное пособие / Э. Р. Галимов, А. Л. Абдуллин. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2020. – 268 с. – ISBN 978-5-8114-4864-7. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/reader/book/126707/#1>. – Загл. с экрана.

2. Зубарев Ю. М. Современные инструментальные материалы: Учебник. — 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Издательство «Лань», 2014. — 304 с.: ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература). <https://e.lanbook.com/reader/book/595/#1>. - Загл. с экрана.

### **б) Дополнительная литература:**

1. Конструкционные стали и сплавы / Воробьева Г.А., Складнова Е.Е., Ерофеев

В.К. – М.: НИЦ ИНФРА-М, 2016. – 440 с.: 60x90 1/16 ISBN – Режим доступа: <https://znanium.com/read?id=187938>. – Загл. с экрана.

2. Нохрина О.И. Легирование и модифицирование стали с использованием природных и техногенных материалов: монография /О.И. Нохрина, И.Д. Рожихина, В.И. Дмитриенко, М.А. Платонов. – Томск: Изд-во Томского политехнич. Ун-та, 2013. – 320 с. - <https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiG--Plw87wAhVEpYsKHTFoCyUQFjABegQIAhAD&url=https%3A%2F%2Fportal.tpu.ru%2Ffiles%2>

**в) Методические указания:**

**г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

**Программное обеспечение**

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
7Zip	свободно	бессрочно
FAR Manager	свободно	бессрочно

**Профессиональные базы данных и информационные справочные системы**

Название курса	Ссылка
Университетская информационная система РОССИЯ	<a href="https://uisrussia.msu.ru">https://uisrussia.msu.ru</a>
Электронные ресурсы библиотеки МГТУ им. Г.И. Носова	<a href="https://magtu.informsystema.ru/Marc.html?locale=ru">https://magtu.informsystema.ru/Marc.html?locale=ru</a>
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный институт промышленной собственности»	URL: <a href="http://www1.fips.ru/">http://www1.fips.ru/</a>
Информационная система - Единое окно доступа к информационным ресурсам	URL: <a href="http://window.edu.ru/">http://window.edu.ru/</a>
Поисковая система Академия Google (Google Scholar)	URL: <a href="https://scholar.google.ru/">https://scholar.google.ru/</a>
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного	URL: <a href="https://elibrary.ru/project_risc.asp">https://elibrary.ru/project_risc.asp</a>
Электронная база периодических изданий East View Information Services,	<a href="https://dlib.eastview.com/">https://dlib.eastview.com/</a>

**9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа оснащена:

- техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории: мультимедийными средствами хранения, передачи и представления учебной информации;

- специализированной мебелью.

2. Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий оснащены лабораторным оборудованием:

«Лаборатория пробоподготовки»:

- отрезными, шлифовальными и полировальными станками;

- оборудованием для травления шлифов;

- специализированной мебелью.

«Лаборатория оптической микроскопии»:

- оптическими микроскопами MICRAY "СМІ-400", МЕТАМ 32М, МИМ-6, МИМ-7;

- компьютерными системами обработки изображений на базе ПО «Thixomet PRO» и «SIAMS-600»;

- коллекциями микро- и макрошлифов углеродистых и легированных сталей, чугунов, цветных металлов и сплавов, порошковых материалов;

- коллекцией макрошлифов с дефектами макроструктуры сталей;

- альбомами микроструктур углеродистых и легированных сталей, чугунов, цветных металлов и сплавов;

- специализированной мебелью.

«Лаборатория механических испытаний»:

- микротвердомером BuehlerMicromet 5103 Buehler;

- твердомерами для испытания твердости по методу Роквелла и по методу Бринелля;

- универсальным твердомером M4C075G3 EmcoTest, МЕТОЛАБ 701;

- напольной универсальной испытательной двухколонной машиной AG IC-300 kN Shimadzu Corp;

- напольной универсальной испытательной двухколонной машиной AG IC-50 kN Shimadzu Corp;

- видеоэкстензометром TRWiew XShimadzu Corp;

- копром маятниковым МК 300 ООО «ИМПУЛЬС»;

- мерительным инструментом;

- специализированной мебелью.

«Лаборатория сканирующей электронной микроскопии»:

- электронным сканирующим микроскопом JEOL JSM – 6490LV;

- системой микроанализа с программным обеспечением INCA Energy 450 x-MAX 50;

- системой анализа картин дифракции обратно рассеянных электронов с программным обеспечением Crystal 400;

- специализированной мебелью.

«Лаборатория термической обработки»:

- термическими камерными печами;

- соляными ваннами;

- установкой плазменной закалки;

- специализированной мебелью.

3. Учебная аудитория для проведения практических занятий, текущего контроля и промежуточной аттестации оснащена:

- компьютерной техникой с пакетом MS Office, с подключением к сети «Интернет» и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета;

- специализированной мебелью.

4. Учебная аудитория для групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации оснащена:

- компьютерной техникой с пакетом MS Office, с подключением к сети «Интернет» и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета;
- специализированной мебелью.

5. Помещение для самостоятельной работы оснащено:

- компьютерной техникой с пакетом MS Office, с подключением к сети «Интернет» и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета;
- специализированной мебелью.

6. Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования оснащено:

- специализированной мебелью: стеллажами для хранения учебного оборудования;
- станочным парком и инструментами для ремонта учебного оборудования.

## **6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

По дисциплине «Современные конструкционные и инструментальные материалы» предусмотрена аудиторная и внеаудиторная самостоятельная работа обучающихся.

**6.1 Аудиторная самостоятельная работа** студентов предполагает выполнение контрольных работ.

### **Перечень вопросов для подготовки к контрольным аудиторным мероприятиям по темам дисциплины**

#### **Тема 1. Механизмы упрочнения**

1. Каковы принципы упрочнения низкоуглеродистой стали?
2. Назовите механизмы упрочнения низкоуглеродистой стали
3. Что такое напряжение трения?
4. Каков механизм твердорастворного упрочнения?
5. От чего зависит упрочнение за счет перлита?
6. В чем суть дисперсионного упрочнения?
7. Как реализуется механизм дислокационного упрочнения?
8. Как действует механизм зернограничного упрочнения?
9. Какова роль этого механизма в упрочнении?
10. Что собой представляет механизм субструктурного упрочнения?
11. Какой из механизмов упрочнения низкоуглеродистой стали наиболее эффективен?
12. Как меняется дислокационная структура при холодной практической деформации?
13. Какие факторы влияют на сопротивление хрупкому разрушению?

#### **Тема 2. Основные термины технологии прокатки высокопрочных сталей**

1. Какова цель термомеханической обработки (ТМО)?
2. В чем основная сущность ТМО?
3. Какие преимущества обеспечивает ТМО по сравнению с другими обработками?
4. В чем принципиальное отличие ВТМО от НТМО?
5. Какова сущность контролируемой прокатки (КП)?
6. За счет чего обеспечивается измельчение зерна при КП?
7. Как осуществляется нагрев при КП?
8. Какова цель высокотемпературной деформации при КП?
9. Что дает деформации в нижней части аустенитной или аустенитно-ферритной области при КП?
10. Как происходит охлаждение при КП?
11. В чем суть контролируемой прокатки с ускоренным охлаждением (КП+УО)?
12. Какие технологические параметры регламентируются при КП+УО?
13. Что влияет на структуру при КП+УО?
14. Какие структуры могут быть получены в процессе КП+УО?
15. Какова общая цель ускоренного охлаждения после прокатки?

#### **Тема 3. Роль микролегирующих элементов**

1. Расскажите о расположении микролегирующих элементов в таблице Д.И.

Менделеева

2. Что такое ряд карбидообразующих элементов? По какому принципу он строится?
3. Каковы особенности электронного строения атомов микролегирующих элементов?
4. Укажите свойства элементов IV-VI групп
5. Назовите недостатки элементов этой группы: у циркония, гафния, тантала.
6. Назовите элементы, которые нашли практическое применение в качестве микролегирующих
7. Какую роль играет растворимость элементов в аустените?
8. Как происходит растворение карбидных и нитридных фаз в аустените?
9. Что характеризует произведение растворимости?
10. Сравните растворимость карбидов, карбонитридов и нитридов в аустените.
11. Какие из карбидных и нитридных фаз микролегирующих элементов имеют самую большую растворимость в аустените?
12. Как влияет повышение содержания углерода на растворимость карбидов в аустените?
13. Как влияет температура нагрева на растворимость карбидных и нитридных фаз?
14. Каковы особенности растворимости карбидных и нитридных фаз при совместном микролегировании ниобием и титаном?
15. Каковы возможности, достигаемые с помощью карбидов титана, ванадия и ниобия?

#### **Тема 4. Влияние микролегирования на формирование структуры**

1. Как влияют микролегирующие элементы в твердом растворе на процессы в стали при нагреве?
2. Как влияет разница в размерах атомов микролегирующего элемента и атома железа на твердорастворное упрочнение:
3. Как влияют микролегирующие элементы на  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращение?
4. Какое влияние на  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращение оказывают частицы карбонитридных фаз микролегирующих элементов, выделившиеся до превращения?
5. Как влияет размер выделившихся частиц карбонитридных фаз на  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращение?
6. Почему важно контролировать размер зерна аустенита, образовавшегося при нагреве микролегированных сталей?
7. Что необходимо обеспечить при нагреве под прокатку микролегированных сталей?
8. Как влияют микролегирующие элементы, растворенные в аустените, на рост зерна аустенита?
9. В каком случае влияние микролегирования на рост зерна аустенита наиболее эффективно?
10. Укажите температуры, до которых заторможен рост зерна аустенита в сталях, микролегированных титаном, ниобием, ванадием.
11. Какой размер зерна аустенита и феррита можно обеспечить в сталях с микродобавками карбидо- или нитридообразующих элементов?
12. Каково влияние микродобавок титана на склонность к росту зерна аустенита в ниобий-содержащих микролегированных сталях?
13. Расположите V, Nb, Ti по возрастанию сдерживающего влияния на рост зерна аустенита.
14. Что называют температурой начала остановки рекристаллизации?
15. Что такое drag-эффект?
16. Как влияют микролегирующие элементы на кинетику рекристаллизации горячедеформированного аустенита низкоуглеродистой стали?

17. Каково различие титана и ниобия во влиянии на кинетику рекристаллизации горячедеформированного аустенита низкоуглеродистой стали?
18. Как температура аустенитизации влияет на рекристаллизацию аустенита?
19. Как температура горячей деформации влияет на рекристаллизацию аустенита?
20. Каково влияние деформации на  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращение в микролегированных сталях?

### **Тема 5. Дисперсионное упрочнение при микролегировании**

1. Чем объясняется дисперсионное упрочнение при микролегировании?
2. Чем различаются когерентные, полукogerентные и некогерентные границы «частица-матрица»? Какую роль они играют в дисперсионном упрочнении?
3. Укажите возможные механизмы взаимодействия частиц с дислокациями?
4. Каков механизм упрочнения некогерентными частицами с модулем сдвига больше модуля сдвига матрицы?
5. Какие параметры определяют напряжение, необходимое для реализации механизма Орована?
6. Какие параметры определяют напряжение, необходимое для реализации механизма перерезания частиц?
7. В каком случае происходит торможение дислокаций упругими полями напряжений?
8. Какие параметры определяют величину эффекты дисперсионного упрочнения?
9. Какие частицы наиболее эффективны для дисперсионного твердения?
10. Какой принцип необходимо соблюдать при дисперсионном упрочнении стали?
11. Какую роль играет титан, ниобий и ванадий при микролегировании стали?

### **Тема 6. Современные инструментальные материалы**

1. Требования, предъявляемые к инструментальным материалам.
2. Углеродистые и легированные инструментальные стали. Примеры, маркировка, назначение.
3. Быстрорежущие стали. Примеры, маркировка, назначение.
4. Вольфрамокобальтовые сплавы (группа ВК). Примеры, маркировка, назначение.
5. Титановольфрамокобальтовые сплавы (группа ТК). Примеры, маркировка, назначение.
6. Титанотанталовольфрамокобальтовые сплавы (группа ТТК). Примеры, маркировка, назначение.
7. Безвольфрамовые твердые сплавы (БВТС). Примеры, маркировка, назначение.
8. Режущая керамика.
9. Сверхтвёрдые инструментальные материалы.
10. Инструментальные материалы с износостойким покрытием.

### **Контрольные задания по практической работе 1. Лазерная сварка сверхнизкоуглеродистой микролегированной холоднокатаной полосы**

На основании результатов и выводов по разделам работы в полученных результатах выбрать данные (фотографии микроструктуры, графики, диаграммы, таблицы), которые иллюстрируют следующие заключения:

1. Образцы для металлографического анализа охватывали зону сварного шва, околошовную зону (ОШЗ) и основной металл.
2. В структуре исследованных сварных соединений после осуществления лазерной сварки отчетливо идентифицируются следующие характерные кристаллические зоны: зона кристаллизации сварного шва, зона перегрева, зона

перекристаллизации, зона рекристаллизации и зона основного холоднодеформированного металла, не подвергавшегося термическому воздействию тепла сварочной ванны.

3. В зоне кристаллизации шва наблюдается структура, состоящая из массивного феррита в виде крупных квазиполигональных зерен и бейнита, представляющего собой рейки толщиной от 0,5 до 1 мкм и длиной до 25 мкм.
4. Структура, состоящая из массивного феррита, образовавшегося бездиффузионным путем по нормальному механизму, и бейнита, образовавшегося по промежуточному механизму сформировалась в результате вторичной кристаллизации дендритной структуры шва при больших скоростях охлаждения приблизительно 1000 °C/с, характерных для лазерной сварки.
5. В ОШЗ можно выделить зону перегрева с крупными ферритными зернами, в которой металл нагревался значительно выше  $A_{c3}$  (до 1450 °C).
6. Зона перекристаллизации ОШЗ включает себя зону нормализации с перекристаллизовавшимися мелкими зернами феррита, в которой металл нагревался до температуры несколько выше  $A_{c3}$  (до 900-1000 °C), и зону частичной перекристаллизации, в которой металл нагревался до температуры в интервале  $A_{c1}$ – $A_{c3}$ , состоящую из мелких перекристаллизовавшихся зерен (там, где образовался аустенит) и крупных рекристаллизованных зерен феррита (там, где не произошла фазовая перекристаллизация при нагреве).
7. В зоне термического влияния наблюдается зона рекристаллизации, в которой металл нагревался до температуры ниже  $A_{c1}$  и наблюдается структура, свидетельствующая о протекании процесса образования зародышей рекристаллизации, их роста и постепенной замены волокнистой структуры (деформированных зерен) на новые мелкие рекристаллизованные зерна.
8. Зона основного металла имеет волокнистую (фибровую) структуру, характерную для деформированного холоднокатаного металла: вытянутые зерна со следами деформации.
9. В микроструктуре сварных соединений полосы из стали 006/IF во всех зонах, за исключением зоны кристаллизации шва наблюдаются крупные частицы геометрически правильной формы размером до 10 мкм, которые идентифицируются как комплексные нитриды титана и ниобия, обогащенные титаном или нитриды титана.
10. В микроструктуре зоны шва кристаллизации стали 006/IF комплексные нитриды титана и ниобия, обогащенные титаном или нитриды титана частицы отсутствуют, поскольку были растворены в жидком металле сварочной ванны.
11. В ОШЗ, прилегающей к зоне кристаллизации шва стали 006/IF, наблюдается участок с крупными не растворившимися частицами нитридов титана. Комплексные нитриды, содержащие ниобий, имеют более низкую температуру растворения и поэтому растворяются под воздействием тепла сварочной ванны, и из-за высоких скоростей охлаждения, не успевают выделяться и не сдерживают рост зерна.
12. В участке ОШЗ сварного соединения полосы из стали 006/IF, прилегающей к зоне кристаллизации шва, образуются аномально крупные зерна феррита, ориентированные в направлении теплоотода, что может быть объяснено замедлением выделения растворившихся в этой зоне частиц, из-за высоких скоростей охлаждения, характерных для лазерной сварки.
13. Протяженность зоны перекристаллизации сварного соединения из стали 006/IF составляет приблизительно 0,06 мм, что объясняется малым временем пребывания металла в этой зоне при температуре выше  $A_{c3}$  из-за больших скоростей теплоотода в околошовную зону в процессе лазерной сварки.
14. Качество сварного соединения оценивается по пробе на выдавливание (по Эриксену): сварной шов считается качественным, если разрушение произошло



- перпендикулярно шву.
15. Качество сварного соединения оценивается по пробе на выдавливание: сварной шов считается не качественным, если разрушение произошло по шву или в ОШЗ параллельно шву.
  16. Максимальное значение твердости наблюдается на оси сварного шва, что объясняется наличием бейнитной структуры. На некотором расстоянии от оси сварного шва наблюдается снижение твердости, минимальное значение которой соответствует зоне перегрева. По мере продвижения к основному металлу в зонах перекристаллизации и рекристаллизации твердость возрастает, достигая значения твердости основного холоднокатаного металла.
  17. Качественно строение зон одинаково для всех исследованных марок стали. Однако протяженность зон и распределение микротвердости различаются в зависимости от сортамента стали.
  18. Повышение микротвердости в зоне кристаллизации шва сварного соединения стали 006/IF примерно на 500 HV по сравнению с микротвердостью стали 08Ю, поскольку комплексные нитриды (карбонитридов) титана и ниобия и нитриды (карбонитриды) титана при сварке растворяются в металле сварочной ванны и при последующем охлаждении титан и ниобий остаются в твердом растворе металла зоны кристаллизации шва, обеспечивая твердорастворное упрочнение.
  19. Распределение микротвердости свидетельствует, что разупрочнение в лазерных сварных соединениях в нелегированных сталях 10пс, 08пс и 08Ю составляет до 38 %, а в сверхнизкоуглеродистой стали 006/IF, микролегированной титаном и ниобием - всего до 15 %.
  20. После рекристаллизационного отжига в сварном соединении зона рекристаллизации объединяется с основным рекристаллизованным металлом, вследствие чего протяженность области разупрочнения уменьшается на величину протяженности зоны рекристаллизации, что положительно сказывается на качестве соединения.
  21. После лазерной сварки максимальные значения сжимающих остаточных напряжений соответствуют оси шва. На границе зоны кристаллизации шва и зоны перегрева, напряжения меняются на растягивающие, затем снова в зоне перегрева меняются на сжимающие, которые уменьшаются на протяжении зоны перекристаллизации и продолжают уменьшаться до значения остаточных напряжений основного металла.
  22. После рекристаллизационного отжига в ОШЗ происходит некоторый рост зерен феррита в зонах перекристаллизации и рекристаллизации, а также рекристаллизация основного металла, в результате чего зона рекристаллизации объединяется с зоной основного металла.
  23. После рекристаллизационного отжига в зоне кристаллизации шва наблюдается ферритно-цементитная структура, образовавшаяся в результате отпуска структуры, сформировавшейся в этой зоне при лазерной сварке.
  24. Рекристаллизационный отжиг непрерывных полос с лазерными сварными соединениями из микролегированной стали 006/IF в линии непрерывного агрегата АНО/АНГЦ снижает микротвердость. Остаточные напряжения в зоне сварного шва и в ОШЗ уменьшаются, и их распределение становится более однородным.

**Контрольные задания по практической работе 2. Влияние скорости охлаждения на структуру и микротвердость арматурной высокоуглеродистой арматурной стали, микролегированной бором**

1. Объяснить принципы построения термокинетических диаграмм с использованием современного исследовательского комплекса Gleeble 3500

2. Используя термокинетическую диаграмму, объяснить влияние скорости охлаждения на микроструктуру стали 80P.
3. Обосновать условия охлаждения, обеспечивающие формирование требуемой структуры при охлаждении заготовки после горячей прокатки на сортовом стане.

**6.2 Внеаудиторная самостоятельная работа** обучающихся осуществляется в виде изучения литературы по соответствующему разделу с проработкой материала по темам дисциплины

## 7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

## а) Планируемые результаты обучения и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации:

Структурный элемент	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
<b>ПК-4: Способен проводить анализ технологических процессов для выработки предложений по управлению качеством продукции</b>		
ПК-4.1	Знает: современные методы исследования материалов и процессов; металлургические основы технологических процессов производства изделий; современные конструкционные и инструментальные материалы; методы повышения качества продукции модифицированием их поверхности; технологические процессы, их влияние на качество продукции; принципы проведения экспертизы металлов и металлоизделий; технологические процессы, принципы их компьютерного моделирования и влияние на качество продукции; технологические процессы, принципы построения их цифровых двойников; автоматизированные технологические агрегаты прокатного производства	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Современные тенденции развития создания и применения конструкционных и инструментальных материалов.</li> <li>2. Актуальность производства микро-легированных сталей (МЛС). Области применения.</li> <li>3. Классификация введения малых добавок легирующих элементов (ЛЭ).</li> <li>4. Основные концепции создания МЛС</li> <li>5. Механизмы упрочнения низкоуглеродистых сталей</li> <li>6. Основные понятия в области технологии производства высоко-прочных сталей</li> <li>7. Термомеханическая обработка (ТМО)</li> <li>8. Контролируемая прокатка (КП)</li> <li>9. Контролируемая прокатка с ускоренным охлаждением (КП с УО)</li> <li>10. Роль микролегирующих элементов (МЛЭ).</li> <li>11. Особенности МЛЭ</li> <li>12. Формирование и растворение карбидов и нитридов МЛЭ в аустените</li> </ol>
ПК-4.2	Умеет: проводить анализ технологических процессов для выработки предложений по управлению качеством продукции, используя современные методы исследования материалов и процессов, компьютерное моделирование и цифровые технологии	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Объясните, как поступают, если при сохранении класса прочности в современных магистральных трубопроводах требуется увеличения толщины стенки трубы.</li> <li>2. Объясните, каковы главные показатели механических и эксплуатационных свойств в высокопрочных низколегированных сталях.</li> <li>3. Что будет служить основной характеристикой хладноломкости стали при испытании падающим грузом?</li> <li>4. Поясните, как выбирается содержание углерода в высокопрочных трубных сталях.</li> <li>5. Зачем увеличивают содержание</li> </ol>

Структурный элемент	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p>мар-ганца до 1,65 % в низкоуглеродистой стали, предназначенной для контро-лируемой прокатки?</p> <p>б. Какой основной недостаток традици-онно используемых путей по-выше-ния прочности автолиста?</p>
ПК-4.3	Имеет практический опыт: анализа технологических процессов для выработки предложений по управлению качеством продукции, используя современные методы исследования материалов и процессов, компьютерное моделирование; анализа технологических процессов для разработки требований к цифровому двойнику	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Какое временное сопротивление обеспечивается в IF-стали?</li> <li>2. Как при производстве автолистовой стали используется TRIP-эффект?</li> <li>3. Какие элементы можно использовать для твердорастворного упрочнения IF-сталей?</li> <li>4. Объяснить основные принципы технологии обработки сверхнизкоуглеродистой микролегированной высокопрочной стали для автомобилестроения.</li> <li>5. Объяснить принципы построения термокинетических диаграмм распада аустенита в низкоуглеродистых микролегированных сталях с использованием современного исследовательского комплекса Gleeble 3500</li> <li>6. Используя термокинетическую диаграмму, объяснить влияние скорости охлаждения на микроструктуру арматурной стали 80P, микролегированной бором.</li> </ol>
<b>ПК-5: Способен исследовать применение интеллектуальных систем для различных предметных областей</b>		
ПК-5.1	<p>Исследует направления применения систем искусственного интеллекта для различных предметных областей</p> <p>Знает: направления развития систем искусственного интеллекта, методы декомпозиции решаемых задач с использованием искусственного интеллекта;</p> <p>Умеет: осуществлять декомпозицию решаемых задач с использованием искусственного интеллекта</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Влияние МЛЭ на размер зерна аустенита и кинетику рекристаллизации горячедеформированного аустенита</li> <li>2. Особенности <math>\gamma</math>-<math>\alpha</math> превращения в МЛС</li> <li>3. Дисперсионное упрочнение в МЛС</li> <li>4. Микролегированные конструкционные высокопрочные трубные стали</li> <li>5. Микролегированные высокопрочные стали для автомобилестроения</li> <li>6. Микролегированная литая конструкционная сталь</li> <li>7. Микролегированная инструментальная сталь</li> </ol>

Структурный элемент	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		8. Классификация современных инструментальных материалов 9. Инструментальные стали 10. Твердые сплавы 11. Минералокерамика 12. Сверхтвердые материалы 13. Области и особенности применения
ПК-5.2	<p>Выбирает комплексы методов и инструментальных средств искусственного интеллекта для решения задач в зависимости от особенностей предметной области</p> <p>Знает: методы и инструментальные средства систем искусственного интеллекта, критерии их выбора и методы комплексирования в рамках применения интегрированных гибридных интеллектуальных систем различного назначения;</p> <p>Умеет: выбирать и комплексно применять методы и инструментальные средства систем искусственного интеллекта, критерии их выбора;</p> <p>Имеет практический опыт: применения инструментальных средств систем искусственного интеллекта в металловедении; написания программ на языке Python; подбора инструментальных средств систем искусственного интеллекта для металлургической промышленности</p>	1. Обосновать условия охлаждения, обеспечивающие формирование требуемой структуры при охлаждении заготовки из стали 80P после горячей прокатки на сортовом стане. 2. Можно ли использовать сталь У10 (Х, 9ХС) для изготовления инструмента для обработки мягких материалов и при небольших скоростях резания (для обработки твердых, вязких материалов, при больших скоростях резания). 3. Резец при эксплуатации разогревается до температуры 650 °С. Какую сталь предпочесть: P9, P6M5, P9K10 и почему? 4. Какие материалы можно выбрать для инструмента сверхскоростной чистовой обработки резанием жаропрочных сталей: P6M5, P18, P10K5Ф5, алмаз, КНБ, Т30К4, ВК3? 5. Какую сталь предпочесть для изготовления штампов для холодной вытяжки (сечением 100 мм) и почему: Х, У12, Х12? 6. Какие из штамповых сталей имеют повышенную износостойкость, а какие – повышенную вязкость: 9ХС, 7ХГ2ВМ, Х12М, 4ХС, 6ХВ2С, Х6ВФ? Объяснить. 7. Какие материалы можно выбрать для инструмента сверхскоростной чистовой обработки резанием жаропрочных сталей: P6M5, P18, P10K5Ф5, алмаз, КНБ, Т30К4, ВК3? 8. Инструмент должен подвергаться полировке. Какую сталь предпочесть: P9, P9Ф5 или P9K5 и почему?

**б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания:**

**Промежуточная аттестация по дисциплине «Современные конструкционные и инструментальные стали»** включает теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень усвоения обучающимися знаний, и практические задания, выявляющие степень сформированности умений и владений, и проводится в форме **экзамена**

Экзамен по данной дисциплине проводится в устной форме по экзаменационным билетам, каждый из которых включает 2 теоретических вопроса и одно практическое задание.

**Показатели и критерии оценивания экзамена:**

– на оценку **«отлично»** (5 баллов) – обучающийся демонстрирует высокий уровень сформированности компетенций, всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, свободно выполняет практические задания, свободно оперирует знаниями, умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.

– на оценку **«хорошо»** (4 балла) – обучающийся демонстрирует средний уровень сформированности компетенций: основные знания, умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.

– на оценку **«удовлетворительно»** (3 балла) – обучающийся демонстрирует пороговый уровень сформированности компетенций: в ходе контрольных мероприятий допускаются ошибки, проявляется отсутствие отдельных знаний, умений, навыков, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

– на оценку **«неудовлетворительно»** (2 балла) – обучающийся демонстрирует знания не более 20% теоретического материала, допускает существенные ошибки, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.

– на оценку **«неудовлетворительно»** (1 балл) – обучающийся не может показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.