



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

05.02.2026 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

ТЕОРИЯ РАЗЛИВКИ И КРИСТАЛЛИЗАЦИИ СТАЛИ

Направление подготовки (специальность)
22.04.02 Metallurgy

Направленность (профиль/специализация) программы
Металлургические технологии производства черных металлов и сплавов

Уровень высшего образования - магистратура

Форма обучения
очная

| | |
|---------------------|--|
| Институт/ факультет | Институт металлургии, машиностроения и материалобработки |
| Кафедра | Металлургии и химических технологий |
| Курс | 2 |
| Семестр | 3 |

Магнитогорск
2026 год


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

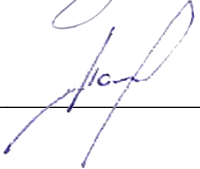
Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
Metallургии и химических технологий
28.01.2026, протокол № 4

Зав. кафедрой  А.С. Харченко

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИММиМ
05.02.2026 г. протокол № 5

Председатель  А.С. Савинов

Рабочая программа составлена:
профессор кафедры кафедры МиХТ, д-р техн. наук  А.М. Столяров

Рецензент:
доцент кафедры ЛПиМ, канд. техн. наук  М.Г. Потапов

Лист актуализации рабочей программы

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2027 - 2028 учебном году на заседании кафедры **Металлургии и химических технологий**

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ А.С. Харченко

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2028 - 2029 учебном году на заседании кафедры **Металлургии и химических технологий**

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ А.С. Харченко

1 Цели освоения дисциплины (модуля)

Целями освоения дисциплины «Теория разливки и кристаллизации стали» являются: разработка и осуществление технологических процессов получения и обработки металлов и сплавов, а также изделий из них; разработка мероприятий по управлению качеством продукции.

2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина Теория разливки и кристаллизации стали входит в часть учебного плана формируемую участниками образовательных отношений образовательной программы.

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

Современный инжиниринг металлургического производства

Прикладная термодинамика и кинетика металлургических процессов

Теория процессов выплавки стали

Теория процессов ковшевой обработки стали

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

Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена

Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы

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

В результате освоения дисциплины (модуля) «Теория разливки и кристаллизации стали» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

| Код индикатора | Индикатор достижения компетенции |
|----------------|--|
| ПК-1 | Способен организовывать согласованную работу по выполнению задач по оценке сырья и металлургической продукции, корректировать и контролировать производственный процесс |
| ПК-1.1 | Организует работу по оцениванию сырья и металлургической продукции, корректирует и контролирует производственный процесс с обоснованием принятых технологических и технических мер |
| ПК-2 | Организует согласованную работу по выполнению технологических операций по получению металлургической продукции, ее дальнейшей обработке |
| ПК-2.1 | Организует работу по выполнению технологических операций по получению металлургической продукции, ее дальнейшей обработке |

4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 7 зачетных единиц 252 академических часов, в том числе:

- контактная работа – 81,2 академических часов;
- аудиторная – 76 академических часов;
- внеаудиторная – 5,2 академических часов;
- самостоятельная работа – 135,1 академических часов;
- в форме практической подготовки – 2 академических часов;
- подготовка к экзамену – 35,7 академических часов

Форма аттестации - экзамен, курсовая работа

| Раздел/ тема дисциплины | Семестр | Аудиторная контактная работа (в академических часах) | | | Самостоятельная работа студента | Вид самостоятельной работы | Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации | Код компетенции |
|---|---------|--|-----------|-------------|---------------------------------|---|---|-----------------|
| | | Лек. | лаб. зан. | практ. зан. | | | | |
| 1. Содержание дисциплины | | | | | | | | |
| 1.1 Современная теория кристаллизации стали | 3 | 4 | | | 12 | Изучение литературы | Устный опрос | ПК-1.1, ПК-2.1 |
| 1.2 Строение стальной непрерывнолитой заготовки | | 4 | | 4 | 12 | Изучение литературы, подготовка к практическому занятию. | Проверка результатов выполнения практического занятия. | ПК-1.1, ПК-2.1 |
| 1.3 Машины непрерывного литья заготовок | | 10 | | 20 | 35,6 | Изучение литературы, ознакомление с методикой решения задач и работой на имитаторе-тренажере разлива стали на МНЛЗ, подготовка к выполнению индивидуальной работы | Проверка решения задач. Тестирование работы на тренажере-имитаторе разлива стали на МНЛЗ | ПК-1.1, ПК-2.1 |
| 1.4 Технология непрерывной разлива стали | | 6 | | 14 | 49,45 | Изучение литературы, ознакомление с методикой решения задач и работой на имитаторе-тренажере разлива стали на МНЛЗ, выполнение индивидуальной работы | Проверка решения задач. Тестирование работы на тренажере-имитаторе разлива стали на МНЛЗ. Защита индивидуальной работы. | ПК-1.1, ПК-2.1 |

| | | | | | | | | |
|--|---|----|--|----|-------|----------------------|--------------------------|----------------|
| 1.5 Качество продукции | 3 | 6 | | | 16 | Изучение литературы | Устный опрос | ПК-1.1, ПК-2.1 |
| 1.6 Современные литейно-прокатные модули | | 8 | | | 10,05 | Изучение литературы, | Устный опрос | ПК-1.1, ПК-2.1 |
| Итого по разделу | | 38 | | 38 | 135,1 | | | |
| Итого за семестр | | 38 | | 38 | 135,1 | | экзамен,кр | |
| Итого по дисциплине | | 38 | | 38 | 135,1 | | экзамен, курсовая работа | |

5 Образовательные технологии

В ходе проведения лекционных и практических занятий предусматривается:

– использование электронного демонстрационного материала по темам, требующим иллюстрации работы больших производственных комплексов: МНЛЗ, литейно-прокатных модулей и др.;

– активные и интерактивные формы обучения: вариативный опрос, дискуссии, устный опрос, использование Интернет-ресурсов, видеообучение, использование имитаторов-тренажеров по непрерывной разливке стали в слябовые и сортовые заготовки.

Обучение происходит по образовательной технологии, связанной с инициированием творческого мышления у обучающихся: занятия проходят в диалоговом режиме при постоянном контакте с аудиторией и побуждением к мыслительному процессу.

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

а) Основная литература:

1. Основы металлургического производства : учебник / В. А. Бигеев, К. Н. Вдовин, В. М. Колокольцев [и др.] ; под общей редакцией

В. М. Колокольцева. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 616 с. — ISBN 978-5-8114-4960-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/129223>

2. Рудской, А. И. Теория и технология прокатного производства : учебное пособие / А. И. Рудской, В. А. Лунев. — Санкт-Петербург : Лань, 2016. — 528 с. — ISBN 978-5-8114-2287-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/76037>

б) Дополнительная литература:

1. Симонян, Л. М. Металлургия спецсталей. Теория и технология спецэлектрометаллургии : учебное пособие / Л. М. Симонян, А. Е. Семин, А. И. Кочетов. — Москва : МИСИС, 2007. — 180 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/117046>

2. Коминов, С. В. Производство стали в электропечах: обработка металла инертными газами : учебное пособие / С. В. Коминов, А. Е. Семин, Ф. В. Чуйков. — Москва : МИСИС, 2014. — 55 с. — ISBN 978-5-87623-777-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/116983>

3. Богатырева, Е. В. Инженерные расчеты в металлургии : учебное пособие / Е. В. Богатырева. — Москва : МИСИС, 2015. — 203 с. — ISBN 978-5-87623-867-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/116602>

в) Методические указания:

1. Селиванов В.Н., Столяров А.М. Определение технологических параметров разливки стали на слябовой МНЛЗ / Методические указания для выполнения курсовой

работы по дисциплине «Разливка и кристаллизация стали» студентами специальности 150101 «Металлургия черных металлов». Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. 20 с.

2. Селиванов В.Н., Столяров А.М. Определение технологических параметров разливки стали на сортовой МНЛЗ / Методические указания для выполнения курсовой работы по дисциплине «Разливка и кристаллизация стали» студентами специальности 150101 «Металлургия черных металлов». Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. 22 с.

г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Программное обеспечение

| Наименование ПО | № договора | Срок действия лицензии |
|-----------------------------|---------------------------|------------------------|
| MS Office 2007 Professional | № 135 от 17.09.2007 | бессрочно |
| 7Zip | свободно распространяемое | бессрочно |
| FAR Manager | свободно распространяемое | бессрочно |

Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

| Название курса | Ссылка |
|--|---|
| Электронная база периодических изданий East View Information Services, ООО «ИВИС» | https://eivis.ru/ |
| Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) | URL:https://elibrary.ru/project_risc.asp |

9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

1. 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. Учебная аудитория для проведения практических занятий оснащена:
 - техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории: мультимедийными средствами хранения, передачи и представления учебной информации;
 - специализированной мебелью.
3. Учебная аудитория для выполнения индивидуальных работ 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;
 - инструментами для ремонта учебного оборудования;
 - шкафами для хранения учебно-методической документации и материалов.

6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

По дисциплине «Теория разливки и кристаллизации стали» предусмотрена аудиторная и внеаудиторная самостоятельная работа обучающихся.

Аудиторная самостоятельная работа студентов предполагает решение задач и работу на имитаторах-тренажерах на практических занятиях.

На практических занятиях обучающиеся решают задачи по определению основных параметров технологии непрерывной разливки стали на МНЛЗ и выполняют задания на имитаторах-тренажерах: знакомство с оборудованием слябовой и сортовой МНЛЗ, технологией разливки стали закрытой и открытой струей.

Вопросы для устного опроса:

1. Основные положения современной теории кристаллизации стали.
2. Усадочные процессы в стали при затвердевании заготовки.
3. Ликвационные процессы в стали при затвердевании заготовки.
4. Поведение газов и неметаллических включений при формировании заготовки.
5. Температурные условия при затвердевании стали.
6. Концентрационное переохлаждение стали.
7. Типы слябовых МНЛЗ.
8. Типы сортовых МНЛЗ.
9. Организация первичного охлаждения непрерывнолитой слябовой заготовки.
10. Организация первичного охлаждения непрерывнолитой сортовой заготовки.
11. Организация вторичного охлаждения непрерывнолитой слябовой заготовки.
12. Организация вторичного охлаждения непрерывнолитой сортовой заготовки.
13. Защита металла в процессе разливки от вторичного окисления и азотирования.
14. Состав современного литейно-прокатного комплекса.
15. Современное производство стальной ленты на роторных МНЛЗ.

Внеаудиторная самостоятельная работа обучающихся осуществляется в виде изучения литературы по соответствующему разделу дисциплины с проработкой материала и подготовкой к защите индивидуальной работы и сдаче экзамена.

Индивидуальная работа выполняется по определению основных технологических параметров непрерывной разливки стали на слябовых и сортовых МНЛЗ. Пример одного из вариантов задания на выполнение индивидуальной работы приведен в приложении 2.

7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

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

| Структурный элемент компетенции | Планируемые результаты обучения | Оценочные средства |
|---|--|---|
| ПК-1: Способен организовывать согласованную работу по выполнению задач по оценке сырья и металлургической продукции, корректировать и контролировать производственный процесс | | |
| ПК-1.1 | Организует работу по оцениванию сырья и металлургической продукцию, корректирует и контролирует производственный процесс с обоснованием принятых технологических и технических мер | <p align="center">Решение задач для определения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – толщины слоя затвердевшего металла в непрерывнолитой заготовке для различных мест технологического канала МНЛЗ; – продолжительности затвердевания непрерывнолитых заготовок различного сечения; – продолжительности разливки металла на МНЛЗ; – протяженности лунки жидкого металла внутри непрерывнолитых заготовок; – диаметра отверстия канала разливочного стакана в сталеразливочном и промежуточном ковшах для условий разливки стали на МНЛЗ; – производительности МНЛЗ. <p align="center">Ознакомление с оборудованием МНЛЗ и технологией непрерывной разливки стали с использованием имитаторов-тренажеров разливки стали на слябовой МНЛЗ ККЦ и сортовой МНЛЗ ЭСПЦ ПАО «ММК».</p> |
| ПК-2: Организует согласованную работу по выполнению технологических операций по получению металлургической продукции, ее дальнейшей обработке | | |
| ПК-2.1 | Организует работу по выполнению технологических операций по получению металлургической продукции, ее дальнейшей обработке | <p align="center">Пример задания на выполнение индивидуальной работы</p> <p align="center">Министерство науки и высшего образования Российской Федерации ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова» Кафедра металлургии и химических технологий</p> <p align="center">З А Д А Н И Е</p> <p align="center">на выполнение индивидуальной работы по дисциплине «Теория разливки и кристаллизации стали» обучающемуся гр. _____</p> <p align="center">Выполнить расчет непрерывной разливки стали на пятиручьева МНЛЗ радиального типа для следующих условий:</p> <ul style="list-style-type: none"> - вместимость сталеразливочного ковша 180 т; - металлургическая длина МНЛЗ 24 м; - длина кристаллизатора 900 мм; - радиус кривизны базовой стенки кристаллизатора |

| Структурный элемент компетенции | Планируемые результаты обучения | Оценочные средства |
|---------------------------------|---------------------------------|---|
| | | <p>9,0 м;</p> <p>- марка стали 15ХСНД;</p> <p>- размеры поперечного сечения заготовки 150×150 мм;</p> <p>Характеристика зоны вторичного охлаждения приведена на оборотной стороне задания. Другие данные, необходимые для расчета, принять самостоятельно.</p> <p>Содержание работы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Определение параметров жидкого металла ($[S]$, $[P]$, t). 2. Расчёт продолжительности затвердевания заготовки. 3. Определение рабочей скорости и диапазона скоростей разливки. 4. Определение скорости разливки и диаметра каналов стаканов в сталеразливочном и промежуточном ковшах. 5. Определение параметров настройки кристаллизатора и зоны вторичного охлаждения (ЗВО). 6. Определение основных параметров системы охлаждения кристаллизатора. 7. Расчёт режима вторичного охлаждения заготовки при вытягивании со скоростью 2,5 м/мин. 8. Расчет длительности разливки плавки при рабочей скорости вытягивания заготовки. 9. Расчет годовой производительности МНЛЗ. <p>Руководитель работы: проф., д.т.н. А.М. Столяров</p> |

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

Промежуточная аттестация по дисциплине «Теория разливки и кристаллизации стали» включает теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень усвоения обучающимися знаний, и практические задания, выявляющие степень сформированности умений и владений, защиту индивидуальной работы.

Экзамен по данной дисциплине проводится в устной форме по экзаменационным билетам, каждый из которых включает два теоретических вопроса и одно практическое задание в виде задачи или в форме теста.

Показатели и критерии оценивания экзамена в устной форме:

– 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.

Показатели и критерии оценивания экзамена в виде теста:

Вопросы тестов охватывают весь объем изучаемой дисциплины в соответствии с РПД.

– 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, что соответствует результату тестирования **75% и более;**

– 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, что соответствует результату тестирования **60 - 74 %;**

– 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, что соответствует результату тестирования **50 - 59 %;**

– на оценку **«неудовлетворительно»** (2 балла) – обучающийся не демонстрирует знания теоретического материала, допускает существенные ошибки, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач, что соответствует результату тестирования **менее 50 %.**

Курсовая работа выполняется под руководством преподавателя, в процессе ее написания обучающийся развивает навыки к научной работе, закрепляя и одновременно расширяя знания, полученные при изучении дисциплины.

Показатели и критерии оценивания курсовой работы:

– на оценку **«отлично»** (5 баллов) – работа выполнена в соответствии с заданием, обучающийся показывает высокий уровень знаний не только на уровне воспроизведения и объяснения информации, но и интеллектуальные навыки решения проблем и задач, нахождения уникальных ответов к проблемам, оценки и вынесения критических суждений;

– на оценку **«хорошо»** (4 балла) – работа выполнена в соответствии с заданием, обучающийся показывает знания не только на уровне воспроизведения и объяснения информации, но и интеллектуальные навыки решения проблем и задач, нахождения ответов к проблемам;

– на оценку **«удовлетворительно»** (3 балла) – работа выполнена в соответствии с заданием, обучающийся показывает знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, интеллектуальные навыки решения простых задач;

– на оценку **«неудовлетворительно»** (2 балла) – задание преподавателя выполнено частично, в процессе защиты работы обучающийся допускает существенные ошибки, не может показать интеллектуальные навыки решения поставленной задачи.

– на оценку **«неудовлетворительно»** (1 балл) – задание преподавателя выполнено частично, обучающийся не может воспроизвести и объяснить содержание, не может показать интеллектуальные навыки решения поставленной задачи.