

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»



«УТВЕРЖДАЮ»

/Ряжских В.И./
« 31 » августа 2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины**

«Теория металлургических процессов»

Направление подготовки 22.03.02 «МЕТАЛЛУРГИЯ»

Профиль «Технология литьевых процессов»

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2021

Автор программы

B. B. Oжерельев

/Ожерельев В.В./

Заведующий кафедрой
технологии сварочного
производства и диагностики

В.Ф. Селиванов

/Селиванов В.Ф./

Руководитель ОПОП

Л.С. Печенкина

/Печенкина Л.С./

Воронеж 2021

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины

Изложение термодинамических и кинетических закономерностей различных физико-химических явлений, протекающих при получении металлов и сплавов, прививание навыков использования анализа термодинамических и кинетических закономерностей межфазных взаимодействий, эффективного проведения металлургических процессов.

1.2. Задачи освоения дисциплины

- научить анализировать полученные экспериментальные результаты;
- дать общую характеристику металлургическим процессам;
- осветить основные вопросы термодинамических и кинетических процессов в современной металлургии

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Теория металлургических процессов» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1 учебного плана.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Теория металлургических процессов» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-3 – способен осуществлять и корректировать технологические процессы в металлургии и металлообработке.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-3	<p>знать физико – химические основы металлургической технологии; процессы сложного тепломассообмена в процессе плавки, методы их математического описания и анализа; структуру и состав окислов металлов, процессы их образования, условия сплошности пленок; состав и свойства шлаков в сталеплавильном производстве</p> <p>уметь проводить термодинамический анализ химических превращений в многокомпонентных системах и на его основе находить наиболее эффективные пути синтеза металлургических материалов</p> <p>владеть современными методами физико – химического анализа свойств и структуры металлов и сплавов;</p>

	методиками расчетов кинетики процессов в металлургических системах
--	--

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины «Теория металлургических процессов» составляет 4 зачетных единицы.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

Очная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры	
		4	
Аудиторные занятия (всего)	72	72	
В том числе:			
Лекции	18	18	
Практические занятия (ПЗ)	36	36	
Лабораторные работы (ЛР)	18	18	
Самостоятельная работа	72	72	
Вид промежуточной аттестации – зачет с оценкой	+	+	
Общая трудоемкость	час	144	144
	зач. ед.	4	4

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Предмет и задачи курса	Предмет и задачи курса. Исторический обзор развития теории металлургических процессов как науки. Роль русских и иностранных ученых в развитии курса.	2	-	-	4	6
2	Окисление и восстановление металлов	Термодинамика окисления металлов. Пленки на металлах. Условие сплошности пленок. Кинетика окисления металлов. Законы роста пленок. Влияние внешних и внутренних факторов на скорость окисления металлов. Основы теории восстановления оксидов. Восстановление оксидов углеродом и водородом. Науглероживание железа.	4	12	8	22	46
3	Металлургические расплавы	Строение жидких сплавов. Температурная зависимость вязкости жидких металлов. Влияние содержания примесей на вязкость жидкого алюминия и железа. Поверхностное	4	12	6	25	47

		<p>натяжение жидких металлов. Электрическое сопротивление. Температурная зависимость удельного электрического сопротивления жидких металлов и сплавов.</p> <p>Строение и свойства шлаков. Ионная теория шлаков. Вязкость шлаков. Взаимодействие металлических расплавов с оксидными шлаковыми расплавами и газовой фазой. Активность компонентов в расплатах. Распределение компонентов между шлаком и расплавом. Окислительная способность шлака.</p>					
4	Обезуглероживание в стали, вредные примеси в сплавах	<p>Термодинамический анализ реакций окисления углерода. Механизм процесса обезуглероживания. Раскисление стали, термодинамический анализ осаждающегося раскисления. Неметаллические включения в стали. Диффузионное раскисление.</p> <p>Водород и азот в стали. Растворимость газов. Дегазация металла. Дефосфоризация и десульфуризация стали. Внедоменное обессеривание чугуна.</p>	8	12	4	21	45
Итого			18	36	18	72	144

5.2 Перечень лабораторных работ

- Исследование кинетики изотермического окисления металлов
- Определение энергии активации гетерогенных реакций
- Исследование диссоциации карбонатов
- Расчет кинетических характеристик реакции диссоциации карбоната кальция.

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Не предусмотрено учебным планом

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован

ПК-3	знатъ физико – химические основы металлургической технологии; процессы сложного тепломассообмена в процессе плавки, методы их математического описания и анализа; структуру и состав окислов металлов, процессы их образования, условия сплошности пленок; состав и свойства шлаков в сталеплавильном производстве	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы при защите курсового проекта	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь проводить термодинамический анализ химических превращений в многокомпонентных системах и на его основе находить наиболее эффективные пути синтеза металлургических материалов	Решение стандартных практических задач, написание курсового проекта	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть современными методами физико – химического анализа свойств и структуры металлов и сплавов; методиками расчетов кинетики процессов в металлургических системах	Решение прикладных задач в конкретной предметной области, выполнение плана работ по разработке курсового проекта	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 4 семестре для очной формы обучения по системе:

- «отлично»;
- «хорошо»;
- «удовлетворительно»;
- «неудовлетворительно»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл	Неудовл
ПК-3	знатъ физико – химические основы металлургической технологии; процессы сложного тепломассообмена в процессе плавки, методы их	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов

	математического описания и анализа; структуру и состав окислов металлов, процессы их образования, условия сплошности пленок; состав и свойства шлаков в сталеплавильном производстве				
	уметь проводить термодинамический анализ химических превращений в многокомпонентных системах и на его основе находить наиболее эффективные пути синтеза металлургических материалов	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%
	владеть современными методами физико – химического анализа свойств и структуры металлов и сплавов; методиками расчетов кинетики процессов в металлургических системах	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

- 7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию** Какие физико-химические процессы влияют в наибольшей степени на формирование отливки?
- Какие методы внешних воздействий влияют на структуру и свойства литого металла?
- Какое влияние на тепловые процессы в литейной форме оказывает конвекция расплава?
- К каким положительным результатам приводит перемешивание расплава в процессе затвердевания? Какие методы перемешивания используются на практике?
- В чем заключается метод газоимпульсного перемешивания расплава?
- На какие параметры затвердевающего сплава оказывает внешнее давление?
- На какие параметры кристаллизации металла оказывает влияние магнитное поле?
- Запишите математические выражения, отражающие влияние магнитного поля на тепловой эффект кристаллизации, скорость кристаллизации и другие параметры затвердевающего металла.
- Проведите оценку величины сил вибрационного воздействия на металлический расплав.
- Какое влияние на структуру литого металла оказывает вибрационное воздействие в процессе затвердевания?
- Дайте определение термина «наследственность структуры литьих сплавов».

12. Проведите классификацию структурной наследственности в системе «шахта -расплав -литое изделие».
13. Приведите схему основных технологических процессов, уровней и этапов передачи структурной информации в литых изделиях.
14. Проведите анализ методики исследования структурной наследственности.
15. Сформулируйте основные экспериментальные результаты, полученные при изучении наследственности в литых сплавах алюминия.
16. Проведите анализ схемы строения расплава с унаследованной структурной неоднородностью.
17. Какие технологические условия способствуют более полной передаче структурной информации от шихты к отливке?
18. Какую роль играет в процессах затвердевания диффузия в жидкой твердой фазах?
19. Приведите примеры бинарных систем, в которых происходит затвердевание твердых растворов.
20. Опишите схему равновесного затвердевания в системе с непрерывным рядом твердых растворов.
21. Сформулируйте понятие температурного и концентрационного интервалов кристаллизации.
22. В каких пределах может изменяться коэффициент распределения компонентов?
23. Опишите схему равновесного затвердевания твердых растворов в системах с эвтектикой и перитектикой.
24. Выведите математическое выражение для темпа кристаллизации сплава с линейными зависимостями температур ликвидуса и солидуса от их состава..
25. Каковы по порядку величины коэффициенты диффузии компонентов в жидкой и твердой фазах в модели равновесной кристаллизации?

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Увеличение веса образца металла при его окислении на воздухе при температуре 460 °C описывается следующими опытными данными:

τ , ч	0	5	10	20	30	50	100	150	200
Δg , мг/см ²	0	0,05	0,10	0,19	0,28	0,45	0,65	0,75	0,85

Определить интервал времени кинетического режима процесса и построить график зависимости скорости реакции от времени во всем изученном интервале.

2. Рассчитать равновесный состав газовой фазы, полученной взаимодействием водорода с кислородом воздуха при 1500 К и давлении, равном 1 атм, если воздух взят в количестве, соответствующем стехиометрическому соотношению между кислородом и водородом.

3. Рассчитать равновесный состав газовой фазы, образующейся по реакции $C + CO_2 = 2CO$ при взаимодействии угля со смесью 80% N_2 и 20% CO_2 при температуре 1000 К и атмосферном давлении.

4. Небольшое количество смеси Fe_2O_3 и Fe_3O_4 продувают газом, содержащим поровну CO и CO_2 с общим давлением 1 атм при 1473 К. Какая из твердых фаз исчезнет в результате химических реакций? Расчет провести, используя следующие данные: упругость диссоциаций Fe_2O_3 до Fe_3O_4 при этой температуре составляет $9,2 \cdot 10^{-4}$ атм, а стандартные изменения энергии Гиббса образования газов из элементов $\Delta G^\circ_{CO_2} = -396,8$ кДж/моль, $\Delta G^\circ_{CO} = -240,6$ кДж/моль.

5. Рассчитать равновесный состав газовой фазы, полученной по реакции $C + O_2 = CO_2$ при взаимодействии графита с воздухом при температуре 900 К и постоянном давлении 1 атм.

6. При какой температуре оксид углерода имеет то же сродство к кислороду, что и графит?

7. Определить, при какой температуре сродство кислорода к водороду и монооксиду углерода одинаково.

8. Рассчитать степень диссоциации SO_3 на SO_2 и кислород при 1000 К и давлении 1 атм.

9. Рассчитать степень диссоциации H_2O на водород и кислород при 2600 К и давлении 1 атм.

10. Рассчитать степень диссоциации CO_2 на CO и кислород при 2400 К и давлении 1 атм.

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Процесс диффузионного раскисления жидкого никеля расплавленным шлаком протекает с кажущейся энергией активации 170 кДж/моль. Какое мероприятие приведет к большему увеличению скорости раскисления – увеличение температуры с 1550 до 1600 °С или площади контакта жидких фаз в два раза.

2. Используя приведенные экспериментальные данные о вязкости оксидного расплава, найти энергию активации вязкого течения.

T, К	1073	1173	1273	1373	1473	1573	1673
η, Па·с	3,31	6,6	1,78	67,6	30,2	14,1	7,6

3. Угол смачивания твердого железа эмалевым расплавом равен 23°, а поверхностное натяжение расплава составляет 330 мДж/м². Определить работу адгезии фаз. Как изменится смачиваемость после введения в расплав поверхностно-активного оксида, если известно, что это уменьшает поверхностное натяжение расплава и межфазное натяжение на 100 мДж/м²?

4. Коэффициент диффузии Mg в жидком Al при температурах 670 и 700 °С равен соответственно 6,1·10⁻⁵ и 7,5·10⁻⁵ см²/с. Найти величину D при температуре 750° С.

5. Пользуясь теорией совершенных ионных растворов, рассчитать активность SiO₂ в расплаве, приготовленном из 42 мол. % CaO, 8% SiO₂, 17% MgO, 33% CaF₂. Практически весь кремний входит в состав ионов SiO₄⁴⁻.

6. Определить активности компонентов жидкого шлака ЭШП, содержащего 75 мас. % CaF₂ и 25 мас. % CaO, считая его совершенным ионным раствором.

7. Пользуясь теорией совершенных ионных растворов, рассчитать активность FeO в расплаве, приготовленном из 55 мол. % CaO, 5% SiO₂, 5% FeO. Практически весь кремний входит в состав ионов SiO₄⁴⁻.

8. Железо меняет кристаллическую структуру (Feα→Feγ) при T = 1183 К. Во сколько раз изменится скорость диффузии углерода в железе при этом в случае неизменного градиента концентрации?

9. Каким должно быть соотношение толщин пленок FeO и Fe₂O₃, чтобы скорости диффузии железа через них были одинаковыми при прочих равных условиях? При решении использовать справочные данные о коэффициентах диффузии железа в его оксидах.

10. Толщина пленки окалины при окислении твердого металла газообразным кислородом изменилась за 10 с на 8 мкм. Определить изменение толщины окалины после окисления в течение 30 с, если: а) процесс протекает в диффузионном режиме; б) процесс протекает в кинетическом режиме. Окалину считать однородной.

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету с оценкой

1. Теория металлургических процессов: предмет и задачи.
2. Термодинамика окисления металлов.
3. Пленки на металлах. Условие сплошности пленок.
4. Кинетика окисления металлов. Законы роста пленок. Влияние внешних и внутренних факторов на скорость окисления металлов.
5. Основы теории восстановления оксидов. Восстановление оксидов углеродом и водородом. Науглероживание железа.
6. Строение жидких сплавов.
7. Температурная зависимость вязкости жидких металлов. Влияние содержания примесей на вязкость жидкого алюминия и железа.
8. Поверхностное натяжение жидких металлов.
9. Электрическое сопротивление. Температурная зависимость удельного электрического сопротивления жидких металлов и сплавов.
10. Строение и свойства шлаков.
11. Ионная теория шлаков. Вязкость шлаков.
12. Взаимодействие металлических расплавов с оксидными шлаковыми расплавами и газовой фазой.
13. Активность компонентов в расплавах.
14. Распределение компонентов между шлаком и расплавом.

15. Окислительная способность шлака.
16. Термодинамический анализ реакций окисления углерода.
17. Механизм процесса обезуглероживания. Раскисление стали, термодинамический анализ осаждающегося раскисления.
18. Неметаллические включения в стали.
19. Диффузионное раскисление.
20. Водород и азот в стали.
21. Растворимость газов. Дегазация металла.
22. Дефосфоризация и десульфуризация стали.
23. Внедоменное обессеривание чугуна.

7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

Не предусмотрено учебным планом

7.2.6 Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Предмет и задачи курса	ПК-3	Тест
2	Окисление и восстановление металлов	ПК-3	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ
3	Металлургические расплавы	ПК-3	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ
4	Обезуглероживание в стали, вредные примеси в сплавах	ПК-3	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ

7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Защита курсового проекта осуществляется согласно требованиям, предъявляемым к работе, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 20 мин.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1. Лузгин В.П., Семин А.Е., Комолова О.А. Теория и технология металлургии стали. Учебное пособие. 2010
2. Лузгин В.П., Косырев К.Л., Комолова О.А. Теория и технология металлургии стали: энергетика, технология и экология сталеплавильных процессов. Учебное пособие. 2010.
3. Щетинин А.А., Небольсин В.А., Корнеева В. В. Физико-химия металлургических систем и процессов. Учебное пособие. ВГТУ, 2006.
4. Сушко Т.И., Кучер А.Т. Производство отливок из сплавов цветных металлов. Учебное пособие. ВГТУ, 2011.
5. Сушко Т.И. Методические указания к лабораторным работам по курсу «Теория металлургических процессов» для студентов направления 150400.62 «Металлургия», профиля «Технология литейных процессов» очной формы обучения №285-2014

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем

Обучающиеся могут при необходимости использовать возможности информационно-справочных систем, электронных библиотек и архивов.

Адрес электронного каталога электронно-библиотечной системы ВГТУ: <http://catalog2.vgasu.vrn.ru/MarcWeb2/>

Другие электронной информационно-образовательной ресурсы доступны по ссылкам на сайте ВГТУ-см. раздел Электронные образовательные информационные ресурсы. В их числе: библиотечные серверы в Интернет, серверы науки и образования, периодика в интернет, словари и энциклопедии.

- Электронная библиотека диссертаций Российской государственной библиотеки <http://www.diss.rsl.ru>
- Электронно-библиотечная система «Лань» <http://www.e.lanbook.com3>
- Электронно-библиотечная система «Elibrary» <http://elibrary.ru>
- Электронно-библиотечная система «IPRbooks» <http://www.iprbookshop.ru>
- Справочная правовая система Консультант Плюс. Доступна только в локальной сети ВГТУ
- Электронные ресурсы российских корпоративных библиотечных систем <http://www.arbikon.ru>

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

1. Лекционная аудитория
2. Оборудование для выполнения лабораторных работ.
3. Мультимедийный проектор.
4. Видеоролики «Доменное производство», «Плавка стали», «Плавка чугуна».

5. Демоверсия программы LVM Flow

10 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Теория металлургических процессов» читаются лекции, проводятся практические занятия и лабораторные работы.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков решения задач в области теории металлургических процессов. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Вид учебных занятий	Деятельность студента <i>(особенности деятельности студента инвалида и лица с ОВЗ, при наличии таких обучающихся)</i>
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удается разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практические занятия	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Подготовка к дифференцированному зачету	При подготовке к зачету необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу и решение задач на практических занятиях.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП