

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

И.о.декана ФМАТ В.И. Ряжских

«29» августа 2017 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины

«Теория формирования отливок»

Направление подготовки 22.03.02 МЕТАЛЛУРГИЯ

Профиль Технология литейных процессов

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2016

Автор программы

Л.С. Печенкина /Печенкина Л.С./

Заведующий кафедрой
материаловедения и физики
металлов

Д.Г. Жилияков /Жилияков Д.Г./

Руководитель ОПОП

Л.С. Печенкина /Печенкина Л.С./

Воронеж 2017

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины

дать студентам знания о расплавах литейных сплавов и процессах, происходящих в них во время заливки в форму и последующего затвердевания и используемые для решения инженерных задач повышения годного литья и получения отливок с заданными служебными свойствами

1.2. Задачи освоения дисциплины

знать перспективные направления развития теории литейных процессов за счет физических воздействий,

изучить особенности технологий с точки зрения организации и информационного обслуживания с использованием вычислительной техники.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Теория формирования отливок» относится к дисциплинам вариативной части (дисциплина по выбору) блока Б1.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Теория формирования отливок» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-3 - готовностью использовать физико-математический аппарат для решения задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-3	знать об истории возникновения и развития литейной технологии; о роли металлов и металлических материалов в развитии цивилизации; о металлическом состоянии вещества, физических и химических, механических свойствах металлов; о методах получения металлических материалов с заданными свойствами; природу фазовых равновесий в металлических системах;
	уметь находить условия, обеспечивающие возможность эффективного управления процессами формирования отливок; предложить мероприятия, направленные на получение оптимальных структуры и свойств отливок;
	владеть правами и обязанностями в период обучения; навыками самостоятельной работы; навыками ведения поиска необходимых знаний по литературным и другим источникам; четкими представлениями об основах затвердевания металлов и сплавов; методами воздействия на кристаллизацию и затвердевание металлов и сплавов

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Теория формирования отливок» составляет 4 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий
очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		8
Аудиторные занятия (всего)	60	60
В том числе:		
Лекции	30	30
Практические занятия (ПЗ)	30	30
Самостоятельная работа	84	84
Виды промежуточной аттестации - зачет с оценкой	+	+
Общая трудоемкость:		
академические часы	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.	СРС	Всего, час
1	Введение	Введение. Объекты формирования отливки.	2	-	4	6
2	Процессы затвердевания и их математические модели	Постановка задачи теории формирования отливки. Тепловые процессы при затвердевании отливок Математические модели затвердевания и охлаждения отливок. Частные случаи математической модели.	12	4	22	38
3	Затвердевание и охлаждение отливки в песчаной форме.	Упрощенные математические модели затвердевания и охлаждения плоской отливки	4	6	14	24
4	Затвердевание и охлаждение отливки в металлической форме.	Заполнение кокиля. Жидкотекучесть расплавов в металлической форме.	8	16	32	56
5	Примеры расчетов	Примеры расчета заполнения формы, затвердевания и охлаждения отливки.	4	4	12	20
Итого			30	30	84	144

5.2 Перечень лабораторных работ

Не предусмотрено учебным планом

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

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной

работы.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

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».

Компе- тенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПК-3	знать об истории возникновения и развития литейной технологии; о роли металлов и металлических материалов в развитии цивилизации; о металлическом состоянии вещества, физических и химических, механических свойствах металлов; о методах получения металлических материалов с заданными свойствами; природу фазовых равновесий в металлических системах;	Активная работа на лекционных занятиях, отвечает на теоретические вопросы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь находить условия, обеспечивающие возможность эффективного управления процессами формирования отливок; предложить мероприятия, направленные на получение оптимальных структуры и свойств отливок;	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть правами и обязанностями в период обучения; навыками самостоятельной работы; навыками ведения поиска необходимых знаний по литературным и другим источникам; четкими	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	представлениями об основах затвердевания металлов и сплавов; методами воздействия на кристаллизацию и затвердевание металлов и сплавов.			
--	---	--	--	--

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 8 семестре для очной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ПК-3	знать об истории возникновения и развития литейной технологии; о роли металлов и металлических материалов в развитии цивилизации; о металлическом состоянии вещества, физических и химических, механических свойствах металлов; о методах получения металлических материалов с заданными свойствами; природу фазовых равновесий в металлических системах;	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	уметь находить условия, обеспечивающие возможность эффективного управления процессами формирования отливок; предложить мероприятия, направленные на получение оптимальных структуры и	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

	свойств отливок; владеть правами и обязанностями в период обучения; навыками самостоятельной работы; навыками ведения поиска необходимых знаний по литературным и другим источникам; четкими представлениями об основах затвердевания металлов и сплавов; методами воздействия на кристаллизацию и затвердевание металлов и сплавов.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстр ирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстр ирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
--	---	---	--	---	---	---------------------

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

Свойства металлических расплавов

1. Дайте определение температуры плавления вещества.
2. Для каких процессов литейного производства важна температура плавления металла?
3. Какие металлы относят к легкоплавким? К тугоплавким?
4. Зависит ли температура плавления металлов от давления?
5. Как изменяется плотность твердых и жидких металлов при изменении температуры?
6. Как изменяется удельный объем твердых и жидких металлов при изменении температуры?
7. Как изменяется удельный объем металлов при плавлении? При затвердевании?
8. Как определить плотность и удельный объем сплава, если известны плотность компонентов и их содержание в сплаве?
9. Какие особенности можно наблюдать на кривых зависимости $V(t)$ при охлаждении различных сплавов? Приведите примеры для наиболее

известных бинарных сплавов.

10. Каковы физические основы литейной усадки? Можно ли разработать безусадочные сплавы?

11. Что такое теплота плавления металла? Зависит ли она от температуры?

12. Как связаны удельная теплота плавления сплавов с аналогичными характеристиками компонентов?

13. Как зависит удельная и молярная теплоемкости металлов от природы металла и от температуры?

14. Как изменяется теплопроводность жидких металлов и сплавов при изменении температуры?

15. Какое значение для практических целей может иметь энтальпия образования соединений?

16. Пользуясь данными, приведенными выше, рассчитайте давление пара алюминия и цинка для нескольких значений температуры в интервале температур от $T_{пл}$ до $T_{пл} + 500$ К и сравните полученные зависимости на одном графике.

17. Как связаны между собой температуры плавления и температуры кипения одного и того же элемента?

18. Как можно вычислить давление пара под расплавом?

19. Какое практическое значение имеет удельное электрическое сопротивление сплавов и от чего оно зависит?

20. Назовите металлы, температура плавления которых находится в пределах $100 \dots 500^\circ \text{C}$, $500 \dots 1000^\circ \text{C}$, $1000 \dots 1500^\circ \text{C}$, $1500 \dots 2000^\circ \text{C}$.

21. Какие металлы обладают плотностью $< 5 \text{ г/см}^3$ при 20°C .

22. Как изменяется коэффициент диффузии при нагревании твердого металла и его плавлении?

23. Как изменяется вязкость жидкого расплава при повышении температуры? При введении легирующих добавок?

24. Как изменяется поверхностное натяжение жидких металлов при повышении температуры?

25. Существует ли корреляция между температурой плавления металлов и величиной их поверхностной энергии?

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

«Математическое описание процессов теплообмена»

1. Укажите неверное утверждение, относящееся к условиям неразрывности текущей среды:
 - а) изменение массы контрольного объёма среды в некоторый промежуток времени течения должно компенсироваться изменением её плотности за тот же промежуток времени;
 - б) для несжимаемой жидкости ($\rho = \text{const}$) объёмный расход в любом сечении трубки тока есть величина постоянная;
 - в) в случае стационарного одномерного течения в канале переменного сечения $\partial(\rho u) / \partial \tau = \text{const}$.
 - г) уравнение сплошности среды для одномерного течения записывается $\partial \rho / \partial \tau + \partial(\rho u) / \partial x = 0$;
2. Укажите правильное утверждение, относящееся к дифференциальному уравнению переноса энергии:
 - а) тепло, выделяемое внутренними источниками заданной мощности в контрольном объёме среды идёт на изменение внутренней энергии этого объёма;
 - б) тепло, подведённое к контрольному объёму внутренними источниками заданной мощности, а также теплопроводностью и конвекцией, идёт на изменение внутренней энергии этого объёма;
 - в) сумма производных $\partial T / \partial \tau + u \partial T / \partial x$, где u – скорость одномерного течения среды, выражает изменение плотности теплового потока контрольного объёма среды путём конвекции;
 - г) в одномерном случае количество тепла, подводимое в контрольный объём среды путём теплопроводности, выражается как $a(\partial^2 T / \partial x^2)$, где a – коэффициент температуропроводности.
3. Укажите неверное утверждение, относящееся к определению температуропроводности среды:
 - а) коэффициент температуропроводности не является физическим свойством среды;
 - б) коэффициент температуропроводности связан с теплопроводностью среды;
 - в) коэффициент температуропроводности зависит от плотности среды;
 - г) чем больше теплоёмкость среды, тем меньше её

температуропроводность.

4. Укажите правильную запись одномерного уравнения переноса энергии:

а) $dT/d\tau = a \nabla^2 T + q_v/\rho c$;

б) $\partial T/\partial \tau = a(\partial^2 T/\partial x^2) + q_v/\rho c$;

в) $\partial T/\partial \tau + u \partial T/\partial x = a(\partial^2 T/\partial x^2) + q_v/\rho c$;

г) $\nabla^2 T = \partial^2 T/\partial x^2 + \partial^2 T/\partial y^2 + \partial^2 T/\partial z^2$

5. Какой закон положен в основу вывода дифференциального уравнения теплопроводности:

а) закон Ньютона-Рихмана;

б) первый закон термодинамики;

в) второй закон Ньютона;

г) закон сохранения массы.

6. Укажите правильную форму записи дифференциального уравнения движения:

а) $\partial u/\partial \tau + u \partial u/\partial x = gt - 1/\rho(\partial p/\partial x) + \nu(\partial^2 u/\partial y^2)$;

б) $\partial u/\partial \tau + u \partial u/\partial x = g - (\partial p/\partial x) + (\partial^2 u/\partial y^2)$;

в) $\partial u/\partial \tau + u \partial u/\partial x = g - 1/\rho(\partial p/\partial x) + \nu(\partial^2 u/\partial y^2)$;

г) $\partial u/\partial y + u \partial u/\partial x = g - 1/\rho(\partial p/\partial x) + \nu(\partial^2 u/\partial y^2)$.

7. Укажите одно неверное утверждение, относящееся к дифференциальному уравнению движения:

а) сила, обусловленная разностью давлений, представлена членом $1/\rho(\partial p/\partial x)$;

б) сила вязкости представлена выражением $\nu(\partial^2 u/\partial y^2)$;

в) силы инерции представлены суммой $\partial u/\partial \tau + u \partial u/\partial x$;

г) сила внутреннего трения записывается как $\nu(\partial u/\partial y)$.

8. Укажите правильное выражение для связи коэффициента теплоотдачи в пограничном слое толщиной δ с нормальной составляющей градиента температуры вблизи поверхности тела:

а) $\alpha = -\lambda/(t_n - t_c)(\partial T/\partial n)_{n=0}$;

б) $\alpha = (t_n - t_c) / \lambda (\partial T/\partial n)_{n=0}$;

в) $\alpha = \lambda / (t_n - t_c) (\partial T / \partial n)_{n=0}$;

г) $\alpha = \delta / (t_n - t_c) (\partial T / \partial n)_{n=0}$.

9. Укажите одно неверное утверждение, относящееся к понятию пограничных слоёв:

а) динамическим пограничным слоем называется слой заторможенной вязкой среды толщиной $\delta_d(x)$ у твёрдой стенки, в пределах которого градиент скорости $(\partial u / \partial y) \neq 0$;

б) температурным пограничным слоем называется слой вязкой среды толщиной $\delta_t(x)$ у твёрдой поверхности, в пределах которого $\partial T / \partial n \neq 0$;

в) коэффициент теплоотдачи от твёрдой поверхности к вязкой среде можно рассчитать с помощью дифференциального уравнения $\alpha = \lambda / (t_n - t_c) (\partial u / \partial n)_{n=0}$;

г) суть гипотезы пограничных слоёв состоит в том, что сила вязкого трения проявляется в пределах динамического пограничного слоя, а процесс теплоотдачи осуществляется в пределах температурного пограничного слоя и подчиняется закону теплопроводности Фурье.

10. Укажите неверную запись дифференциального уравнения теплопроводности:

а) для нестационарной теплопроводности $a \nabla^2 T + q_v / \rho c = 0$;

б) уравнение Фурье для нестационарной теплопроводности в теле без источников тепла

$$\partial T / \partial \tau = a \nabla^2 T$$

в) уравнение Пуассона для стационарной теплопроводности в теле с источниками тепла

$$\nabla^2 T + q_v / \lambda = 0;$$

г) одномерное уравнение Лапласа для стационарной теплопроводности в теле без источников тепла $\partial^2 T / \partial x^2 = 0$.

11. Укажите неверное утверждение, относящееся к формулировке условий однозначности решения дифференциальных уравнений:

а) геометрические условия характеризуют форму и размеры тела или системы, в которой протекает процесс теплообмена;

б) граничные условия характеризуют тепловое равновесие на границе раздела двух тел;

в) физические условия характеризуют физические свойства тел,

участвующих в теплообмене;

г) начальные условия характеризуют распределение температуры и скорости течения среды в начальный момент времени.

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Укажите одно неверное утверждение, относящееся к теплопроводности плоской стенки толщиной δ и имеющей удельную теплопроводность λ при температурах на её горячей и холодной сторонах t_1 и t_2 :

а) стационарный процесс теплопроводности описывается дифференциальным уравнением

$$d^2t/dx^2=0;$$

б) плотность потока тепла, переносимого через стенку, описывается уравнением

$$q = \lambda \frac{t_1 - t_2}{\delta} ;$$

в) плотность потока тепла, переносимого через стенку, описывается уравнением

$$q = \frac{t_1 - t_2}{\lambda / \delta} ;$$

г) плотность потока тепла, переносимого через стенку, описывается уравнением

$$q = \frac{t_1 - t_2}{\delta / \lambda}$$

2. Укажите одно правильное утверждение, относящееся к стационарной теплопроводности через плоскую стенку толщиной δ и удельной теплопроводностью λ при температурах её горячей t_1 и холодной t_2 сторон:

а) граничное условие для данной задачи записывается:

плотность потока тепла $q = \text{const}$.

б) граничное условие для данной задачи записывается:

$$t(x=0) = t_1 , \quad t(x = \delta) = t_2;$$

в) распределение температур в стенке описывается уравнением $t = (t_1 - t_2) x / \delta$;

г) термическое сопротивление стенки определяется выражением

$$R_T = \lambda / \delta.$$

3. При стационарном процессе теплопроводности в многослойной стенке, состоящей из двух плоских слоёв толщиной δ_1 и δ_2 , и имеющих т-проводности λ_1 и λ_2 , и температуры на внутренней и внешней поверхностях стенки t_1 и t_2 , можно сформулировать следующие положения(указать одно неправильное):

а) плотность теплового потока через стенку не зависит от времени;

б) плотность теплового потока через стенку зависит только от теплопроводности слоёв;

г) плотность теплового потока через стенку определяется выражением

$$q = \frac{t_1 - t_2}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} ;$$

д) эквивалентная теплопроводность стенки определяется выражением

$$\lambda_{\text{экв}} = \frac{\delta_1 + \delta_2}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} .$$

4. Для стационарной теплопроводности в многослойной стенке можно сформулировать следующие положения(указать одно неправильное):

а) температурное поле в стенке не зависит от времени и определяется только одной координатой $t(x)$;

б) зависимость $t(x)$ является линейной;

в) угловые коэффициенты прямых $t(x)$ в отдельных слоях различны и обратно пропорциональны их удельной теплопроводности;

г) плотность теплового потока в слоях различна и пропорциональна их термическому сопротивлению.

5. Для стационарного процесса теплопередачи от горячего теплоносителя(t_1) к холодному (t_2) через двухслойную плоскую стенку (толщины слоёв δ_1 и δ_2 , удельные теплопроводности λ_1 и λ_2) при коэффициентах теплоотдачи на горячей и холодной сторонах стенки α_1 и α_2 можно сформулировать следующие положения(указать одно неправильное):

а) плотность теплового потока обратно пропорционально полному термическому сопротивлению стенки;

б) тепловой поток через стенку пропорционален времени процесса и площади стенки;

в) полное термическое сопротивление стенки равно сумме внешних и внутренних сопротивлений;

г) внешнее сопротивление стенки определяется толщиной слоёв, контактирующих с теплоносителями.

6. Для стационарного процесса теплопередачи от горячего теплоносителя (t_1) к холодному (t_2) через двухслойную плоскую стенку (толщины слоёв δ_1 и δ_2 , удельные теплопроводности λ_1 и λ_2) при коэффициентах теплоотдачи на горячей и холодной сторонах стенки α_1 и α_2 можно сформулировать следующие положения (указать одно неправильное):

а) коэффициент теплопередачи характеризует плотность передаваемого теплового потока при единичной разности температур между теплоносителями;

б) коэффициент теплопередачи характеризует плотность передаваемого теплового потока при единичной разности температур между стенками;

в) плотность теплового потока пропорциональна разности температур $t_1 - t_2$;

г) внутреннее термическое сопротивление стенки определяется выражением

$$\delta_1/\lambda_1 + \delta_2/\lambda_2.$$

7. В стационарном процессе теплопередачи между горячим и холодным теплоносителями через плоскую стенку толщиной δ и теплопроводностью λ передаётся тепловой поток с плотностью q . Температуры теплоносителей и коэффициенты теплоотдачи на сторонах стенки соответственно равны t_{c1} и t_{c2} , α_1 и α_2 . Для этих условий температура на горячей стороне стенки :

а) $t_1 < t_{c1}$;

б) $t_1 = t_{c1}$;

в) $t_1 < t_{c2}$;

г) $t_1 = t_{c1} - q/\lambda$

8. Для стационарного процесса теплопроводности через цилиндрическую стенку:

а) плотность теплового потока пропорциональна радиусу стенки;

б) плотность теплового потока обратно пропорциональна радиусу

стенки;

в) удельный тепловой поток не зависит от радиуса стенки;

г) удельный тепловой поток измеряется в Вт/м.

9. Для стационарного процесса теплопроводности через цилиндрическую стенку, внутренний и внешний радиусы которой равны r_1 и r_2 , а температуры t_1 и t_2 , для распределения температур в стенке можно утверждать(укажите неверное утверждение):

а) температура пропорциональна отношению r_2/r_1 ;

б) распределение температур имеет нелинейный характер;

в) распределение температур определяется выражением

$$t = t_1 - (t_1 - t_2) \ln(r/r_1)/\ln(r_2/r_1)$$

г) градиент температуры в стенке определяется выражением

$$\frac{dt}{dr} = - \frac{t_1 - t_2}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \cdot \frac{1}{r}.$$

10. Для стационарного процесса теплопередачи между горячим и холодным теплоносителями через цилиндрическую стенку можно утверждать(укажите неверное утверждение):

а) удельный тепловой поток пропорционален коэффициенту теплопередачи;

б) коэффициент теплопередачи обратно пропорционален полному термическому сопротивлению стенки;

в) полное термическое сопротивление стенки пропорционально её толщине;

г) внешнее термическое сопротивление стенки при прочих равных условиях тем больше, чем больше её радиус.

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету **Равновесие между чистым металлом и его расплавом как атомарный процесс**

1. Сформулируйте положения Джексона и Чалмерса и динамическом характере равновесия между твердой и жидкой фазами.

2. От каких факторов зависят скорости перехода атомов из твердой

фазы в жидкую и наоборот.

3. Что такое коэффициент аккомодации и как он влияет на скорости прямого и обратного процесса при плавлении металла?

4. Запишите выражения для скоростей перехода атомов через фазовую границу при плавлении и затвердевании.

5. Что означает выражение «диффузная граница раздела фаз»?

6. Чем определяется морфология поверхности раздела между жидкой и твердой фазой?

7. Что такое критерий Джексона?

Кристаллизация чистых металлов

1. Проведите возможные кривые охлаждения чистого металла. Как влияет на них скорость охлаждения?

2. Что такое переохлаждение? Как связано переохлаждение с уменьшением свободной энергии Гиббса рассматриваемой системы?

3. Как изменяется свободная энергия системы при образовании зародыша новой фазы?

4. Запишите и проведите анализ выражения для энергии гомогенного образования зародыша.

5. Выведите выражение для критического радиуса зародыша и проанализируйте его.

6. Изобразите на графике кривые $\Delta G(r)$ для различных условий кристаллизации.

7. Изобразите графически зависимость радиуса критического зародыша от переохлаждения.

8. Запишите и проанализируйте выражение для энергии гетерогенного образования зародышей.

9. В чем заключается принцип структурного соответствия?

10. Какое влияние на работу образования зародыша оказывает кривизна подложки?

11. Охарактеризуйте нормальный механизм роста кристаллов.

12. Охарактеризуйте тангенциальный механизм роста кристаллов.

13. Чем механизм Франка отличается от тангенциального механизма

роста?

14. Нарисуйте и поясните кривые Таммана.

Влияние и поведение нерастворимых примесей.

1. Какое количество нерастворимых частиц присутствует в металлических расплавах в условиях литейного производства и какова их природа?

2. Какую роль в процессах зарождения твердого металла могут играть нерастворимые частицы?

3. Каким образом перегрев расплавленного металла над точкой плавления перед заливкой в изложницу может влиять на структуру слитка?

4. Объясните, почему активное действие некоторых частиц на структуру сплава может наблюдаться при высоких температурах перегрева расплава над точкой ликвидуса?

5. Объясните, почему одни микро- и наночастицы нерастворимых примесей при затвердевании сплава встраиваются в кристаллические зерна, а другие скапливаются по границам зерен.

6. Как влияет характер встраивания нерастворимых частиц в затвердевающие сплавы на их механические свойства?

7. Влияет ли скорость охлаждения на характер встраивания нерастворимых частиц в затвердевающих сплавах?

Тепловые процессы при затвердевании

1. Сформулируйте и запишите условия непрерывности теплового потока на границе раздела твердой и жидкой фаз при стационарном фронте кристаллизации.

2. Сформулируйте и запишите условия непрерывности теплового потока на движущемся фронте кристаллизации при затвердевании металла.

3. Как влияет кривизна затвердевающей поверхности на температуру равновесия между твердой и жидкой фазами?

4. Проведите анализ процесса затвердевания плоского фронта в случае отвода скрытой теплоты плавления через твердую фазу.

5. Какова причина устойчивости плоской формы фронта кристаллизации при теплоотводе через твердую фазу?

6. Каковы причины возникновения макромозаичной структуры слитка?

7. Проведите анализ процесса затвердевания плоского фронта при

теплоотводе через жидкую фазу.

8. Охарактеризуйте причины и направления дендритного роста чистых металлов.

9. Что такое дендритные сферолиты?

7.2.5 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

Укажите вопросы для экзамена Не предусмотрено учебным планом

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Зачет проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 10 баллов (5 баллов верное решение и 5 баллов за верный ответ). Максимальное количество набранных баллов – 20.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 6 баллов.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 6 до 10 баллов

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 11 до 15 баллов.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 16 до 20 баллов.)

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Введение	ПК-3	Тест, контрольная работа, защита реферата, устный опрос
2	Процессы затвердевания и их математические модели	ПК-3	Тест, контрольная работа, защита реферата, устный опрос
3	Затвердевание и охлаждение отливки в песчаной форме.	ПК-3	Тест, контрольная работа, защита реферата, устный опрос
4	Затвердевание и охлаждение отливки в металлической форме.	ПК-3	Тест, контрольная работа, защита реферата, устный опрос
5	Примеры расчетов	ПК-3	Тест, контрольная работа, защита реферата, устный опрос

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.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения

дисциплины

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Обеспеч
1. Основная литература				
	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Обеспеч
1	Щетинин А.А., Печенкина Л.С.	Физические основы затвердевания металлов и сплавов в отливках: учеб.пособие	Воронеж: ВГТУ, 2015	
2	Сильман Г.И.	Материаловедение: учеб.пособие	М.: «Академия», 2008.-338 с.	
3	Щетинин А.А., Печенкина Л.С., Аммер В.А.	Физические основы тепломассопереноса: Учебное пособие.	Воронеж: ГОУВПО «Воронеж-ский государственный универси-тет», 2014, 180 с	
4	Печенкина, Л.С.	Практические расчеты для дисциплины «Теплофизика»: учеб.-метод. пособие [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые и граф. данные (0,6 Мб) / Л.С. Печенкина, А.А. Щетинин.	Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2018.	
2. Дополнительная литература				
	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Обеспеч
1	Щетинин А.А., Андрусевич Д.Е.	Физические основы затвердевания металлов и сплавов	ФГБОУ ВПО «Воронеж. гос. техн. ун-т», 2008	
2	Печенкина Л.С., Аммер В.А.,	Моделирование литейных процессов и объектов металлургии: учеб. пособие	Воронеж: ВГТУ, 2003	

	Сагань Н.М..			
3	Чалмерс Б..	Теория затвердевания	Москва, 1968	

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

Microsoft Word, Microsoft Excel, Internet Explorer, СКМ Полигон, СКМ LVM Flow

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

1. Лаборатория химических и физико-химических методов анализа 306/1
2. Мультимедийный проектор.
3. Дисплейный класс 306а/1

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Теория формирования отливок» читаются лекции, проводятся практические занятия.

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 расчета параметров затвердевания отливок. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
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 удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практическое занятие	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.
Самостоятельная	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоения

работа	учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - выполнение домашних заданий и расчетов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом с оценкой три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.