

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

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

УТВЕРЖДАЮ

И.о.декана ФМАТ  В.И. Рязжских

«29» августа 2017 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

дисциплины

«Физические основы затвердевания 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



/Печенкина Л.С./

Заведующий кафедрой  
материаловедения и физики  
металлов



/Жиляков Д.Г./

Руководитель ОПОП



/Печенкина Л.С./

Воронеж 2017

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

### 1.1. Цели дисциплины

дать студентам знания о реальных физических процессах, происходящих в металлах и сплавах при их затвердевании для получения отливок с наперед заданными 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 «Физические основы затвердевания отливок» относится к дисциплинам вариативной части (дисциплина по выбору) блока Б1.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Физические основы затвердевания отливок» направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-1 - готовностью использовать фундаментальные общеинженерные знания

ПВК-2 - способностью использовать информационные средства и технологии при решении задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ОПК-1	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 использовать основные понятия, законы и модели термодинамики, химической кинетики, переноса тепла и массы;
	владеть четкими представлениями об основах затвердевания металлов и сплавов; методами воздействия на кристаллизацию и затвердевание металлов и сплавов.
ПВК-2	знать 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.

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Физические основы затвердевания отливок» составляет 3 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий  
**очная форма обучения**

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		7
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	36	36
В том числе:		
Лекции	18	18
Практические занятия (ПЗ)	18	18
<b>Самостоятельная работа</b>	72	72
Виды промежуточной аттестации - зачет	+	+
Общая трудоемкость: академические часы	108	108
зач.ед.	3	3

#### 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. Физические свойства металлических расплавов	Введение. Физико-химический и металлургический подход к затвердеванию металлов. Свойства металлических расплавов. Температура плавления. Плотность и удельный объем твердых и жидких металлов. Давление пара металлов и сплавов Теплофизические свойства металлов и сплавов. Диффузия и вязкость металлических расплавов. Поверхностная энергия расплавов. Исторические сведения об изучении затвердевания сплавов. Расчет физических свойств металлических расплавов.	5	4	20	29

2	Равновесие между жидкой и твердой фазами и процессы зародышеобразования	Термодинамические параметры металлических систем. Термодинамические соотношения. Условия равновесия. Диаграммы состояния. Природа жидкостей и кристаллических твердых тел, различие между ними. Общие сведения о строении металлических расплавов. Равновесие между чистым металлом и его расплавом как атомарный процесс Равновесие между чистым металлом и его расплавом как атомарный процесс Кристаллизация чистых металлов. Переохлаждение. Гомогенное и гетерогенное образование зародышей Тепловые процессы при затвердевании. Отвод скрытой теплоты кристаллизации при положительном и отрицательном градиенте температуры. Расчет термодинамических параметров межфазных равновесий. Анализ диаграмм состояния металлических систем.	7	4	20	31
3	Многофазное затвердевание и процессы диффузии	Диффузионное переохлаждение Ячеистые структуры и условия их формирования. Дендритная кристаллизация. Формирование плоскогранных и округлых дендритов. Моделирование равновесной кристаллизации бинарных сплавов Моделирование неравновесной кристаллизации бинарных сплавов. Анализ условий дендритной кристаллизации	4	8	20	32
4	Управление затвердеванием и структура слитков	Явление наследственности в литых сплавах Моделирование процессов затвердевания эвтектических сплавов	2	2	12	16
<b>Итого</b>			<b>18</b>	<b>18</b>	<b>72</b>	<b>108</b>

## 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».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ОПК-1	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 использовать основные понятия, законы и модели термодинамики, химической кинетики, переноса тепла и массы;	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть четкими представлениями об основах затвердевания металлов и сплавов; методами воздействия на кристаллизацию и затвердевание металлов и сплавов.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПВК-2	знать 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	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	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.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	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 7 семестре для очной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
ОПК-1	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 70-100%	Выполнение менее 70%
	уметь использовать основные понятия, законы и модели термодинамики, химической кинетики, переноса тепла и массы;	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть четкими представлениями об основах затвердевания металлов и сплавов; методами воздействия на кристаллизацию и затвердевание металлов и сплавов.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПВК-2	знать природу фазовых равновесий в	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%

металлических системах;			
уметь находить условия, обеспечивающие возможность эффективного управления процессами формирования отливок; предложить мероприятия, направленные на получение оптимальных структуры и свойств отливок;	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
владеть правами и обязанностями в период обучения; навыками самостоятельной работы; навыками ведения поиска необходимых знаний по литературным и другим источникам.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован 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

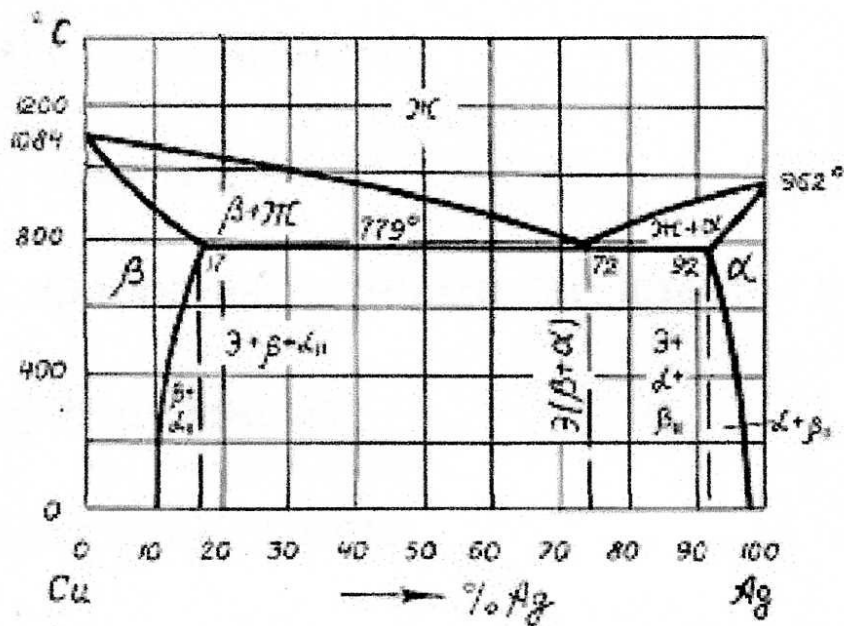
1. Поверхностными дефектами кристаллической решетки являются...

- А) границы зерен
- Б) дислокации
- В) вакансии
- Г) границы субзерен
- Д) межузельные атомы

2. Временное сопротивление, условный предел текучести и относительное удлинение определяют при испытаниях на ...

- А) изгиб
- Б) усталость
- В) растяжение
- Г) ударную вязкость

3. Растворимость серебра в меди при температуре 779°C составляет \_\_\_%.



- A) 72
- B) 17
- B) 92
- Г) 10

4. Кристаллизация чугуна, содержащего 3% углерода, происходит в интервале температур...

- A) 1539°C - 1300°C
- B) 1300°C - 727°C
- B) 1539°C - 1147°C
- Г) 1300°C - 1147°C

5. Быстрорежущей сталью является ...

- A) ХВГ
- B) У12А
- B) БрБ2
- Г) Р6М5

6. Наилучшие упругие свойства пружинно-рессорных сталей обеспечиваются...

- A) закалкой и средним отпуском
- B) закалкой и низким отпуском
- B) нормализацией
- Г) отжигом

7. Ферромагнитными свойствами не обладают стали \_\_\_\_\_ класса.

- A) ферритного



- Б) мартенситного
- В) аустенитного
- Г) перлитного

8. Структура заэвтектического белого чугуна при комнатной температуре состоит из...

- А) ледебурита и первичного цементита
- Б) перлита и феррита
- В) перлита, ледебурита и вторичного цементита
- Г) перлита и вторичного цементита

9. Для веществ с металлической кристаллической решеткой характерны...

- А) пластичность и ковкость
- Б) низкая теплопроводность
- В) хрупкость
- Г) высокая электропроводность
- Д) склонность к возгонке

10. Измерение твердости закаленной стали на приборе Роквелла

производится вдавливанием в образец \_\_\_\_\_, и величина твердости обозначается...

- А) алмазного конуса, HRC
- Б) стального шарика, HB
- В) стального шарика, HRB
- Г) алмазной пирамиды, HRC

### **7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач**

#### **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  $20^\circ \text{C}$ .

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?

### **7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач**

#### **Неравновесная кристаллизация сплавов твердых растворов**

1. Каковы диффузионные условия неравновесной кристаллизации сплавов твердых растворов по первой модели?

2. Как изменяется интервал затвердевания твердого раствора при кристаллизации по первой модели?

3. Как изменяется состав твердой фазы при неравновесной кристаллизации твердого раствора по первой модели?

4. Как изменяется состав жидкой фазы в системе с твердым раствором при неравновесной кристаллизации по первой модели?

5. Проведите анализ процесса неравновесной кристаллизации твердых растворов в системах с минимумом и максимумом температур ликвидуса и солидуса.

6. Проведите анализ процесса неравновесной кристаллизации в системе с эвтектическим превращением.

7. Проведите анализ процесса неравновесной кристаллизации в системе с перитектикой.

8. Проведите анализ процесса неравновесной кристаллизации в системе с химическим соединением.

9. Выведите математическое выражение для правила рычага при неравновесной кристаллизации.

10. Сформулируйте физические основы неравновесной кристаллизации по второй модели.

11. Проведите анализ неравновесной кристаллизации раствора по второй модели.

12. Что выражает линия неравновесного солидуса? От чего зависит ее положение на диаграмме?

13. Рассмотрите неравновесную кристаллизацию по второй модели сплавов в системе с эвтектическим превращением.

14. Сформулируйте физические основы неравновесной кристаллизации по третьей модели.

15. Запишите и проведите анализ математического выражения для зависимости концентрации кристаллизующего компонента от расстояния до фронта кристаллизации в случае неравновесного затвердевания.

16. Как изменяется концентрация от координаты в жидкости при затвердевании сплавов с  $K < 1$  и  $K > 1$  ?

#### **7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету** **Введение**

1. Где находится литейное производство как наука и отрасль промышленности в сфере человеческой деятельности?

2. В какое время формировалась наука о литейном производстве?

3. Каковы основные стадии формирования высококачественных отливок?

4. Какие открытия в естественных науках способствовали развитию литейного производства как науки?

5. Освоение каких отливок требовало развития литейного производства в первой и второй половине 20 века?

6. Какие сложные науки позволяют совершенствовать качество производимых отливок?

7. В чем сходство и в чем различие физико-химического и металлургического подхода к изучению литейных процессов?

8. Каковы цель и задачи дисциплины «Физические основы затвердевания»?

#### **Электронное строение металлов и неметаллов. Физические и химические свойства металлов**

1. Перечислите наиболее характерные общие свойства металлов.

2. Какие существенные различия в свойствах разных металлов Вам известны?

3. Сформулируйте основные положения современной модели строения

атомов химических элементов.

4. Каковы особенности строения переходных металлов?
5. Каким образом изменяются металлические свойства элементов в периодах и в группах?
6. Почему атомные и ионные радиусы элементов периодически изменяются в группах и периодах?
7. Сформулируйте основные положения современной теории металлической связи.
8. Как с помощью теории металлической связи объяснить физические свойства металлов?

### **Равновесие между твердой жидкой фазами**

1. Дайте термодинамическое определение точки плавления.
2. Что такое энтропия системы? Зависит ли она от массы сплава?
3. Дайте определение энтальпии системы, свободной энергии Гиббса, связанной энергии.
4. Как выражается термодинамически равновесие металла в точке плавления?
5. Что такое скрытая теплота плавления и как она связана с термодинамическими параметрами системы?
6. Какие параметры системы связывает уравнение Клапейрона-Клаузиуса? Уравнение Вант-Гоффа?
7. Дайте термодинамическое определение точек ликвидуса и солидуса сплава.
8. Что представляет диаграмма состояния бинарной системы?
9. Сформулируйте правило фаз и поясните его на примере чистого металла, бинарного сплава.
10. Проведите анализ простейших диаграмм состояния бинарных сплавов.
11. Сформулируйте правило рычага и поясните его примерами.
12. Что такое коэффициент распределения компонента в бинарной системе. Какие он может принимать значения?

### **Общие сведения о строении металлических расплавов**

1. Как изменяются физические свойства металлов при переходе через точку плавления?
2. Проведите сравнение образа движения атомных частиц в твердом и жидком металле.
3. Что такое дальний порядок? Что такое ближний порядок? Чем различаются картины дифракции рентгеновских лучей, получаемых от структур с дальним и ближним порядком?
4. Сформулируйте основные положения кластерной теории жидкостей.
5. Нарисуйте и поясните диаграмму переходов между твердым и жидким состоянием.
6. Как объяснить с атомно-молекулярных позиций тот факт, что одни вещества плавятся с увеличением объема, а другие с уменьшением объема?
7. Как объяснить с позиции атомно-молекулярной теории тот факт, что теплота испарения металлов в несколько раз больше их теплоты плавления?
8. Какое значение в структуре технического металла могут иметь нерастворимые примеси?

### **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?

### **Равновесная кристаллизация сплавов твердых растворов**

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?

### **Диффузионное переохлаждение**

1. Запишите и проанализируйте математическое выражение для равновесной температуры ликвидуса в зависимости от расстояния до фронта кристаллизации.

2. Сформулируйте основные причины и условия возникновения диффузионного переохлаждения.

3. Запишите математическое выражение для условия, при котором в случае плоского фронта кристаллизации существует диффузионное переохлаждение.

4. Запишите условие отсутствия диффузионного переохлаждения для плоского фронта кристаллизации.

5. Почему отсутствие диффузионного переохлаждения способствует кристаллизации плоским фронтом?

6. Почему плоский фронт кристаллизации неустойчив в присутствии диффузионного переохлаждения?

7. Как возникает ячеистая структура?

8. Какие физические параметры влияют на возникновение ячеистой структуры?

### **Дендритная кристаллизация.**

1. Когда было введено понятие о дендритном росте кристаллов? Какие

типы дендритов характерны для кристаллизации сплавов?

2. Какие физические процессы обуславливают возникновение плоскогранных дендритов?
3. Опишите механизм возникновения плоскогранных дендритов.
4. В каких условиях возникают округлые дендриты?
5. Какие физические процессы способствуют образованию округлых дендритов?
6. Опишите механизм возникновения округлых дендритов.
7. Что такое дендритная ячейка и дендритный параметр?
8. Как связаны между собой дендритный параметр и скорость охлаждения?
9. Что такое дендритная ликвация?
10. Как возникает дендритная ликвация?
11. Как устраняют дендритную ликвацию в отливках?
12. Как связаны между собой дендритный параметр и время выравнивающего отжига?

### **Кристаллизация эвтектических сплавов**

1. Что такое эвтектика, эвтектическая точка, эвтектический состав, эвтектическая температура?
2. Может ли в бинарной системе существовать несколько эвтектических точек?
3. Опишите наиболее распространенные эвтектические структуры.
4. Что такое эвтектическая колония, эвтектическое зерно?
5. Перечислите аномалии в структуре эвтектических сплавов, которые не могут быть объяснены на основе диаграмм состояния.
6. Объясните возможный механизм роста пластинчатой эвтектики.
7. Какое значение имеет соотношение между скоростями роста фаз эвтектики ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) и совместного роста ( $\alpha + \beta$ ) в структуре затвердевающего эвтектического сплава?
8. Что такое область сопряженного роста фаз?

9. Охарактеризуйте существующие механизмы образования эвтектических структур.

### **Наследственность структуры в литых сплавах**

1. Дайте определение термина «наследственность структуры литых сплавов».

2. Проведите классификацию структурной наследственности в системе «шихта - расплав - литое изделие».

3. Приведите схему основных технологических процессов, уровней и этапов передачи структурной информации в литых изделиях.

4. Проведите анализ методики исследования структурной наследственности.

5. Сформулируйте основные экспериментальные результаты, полученные при изучении наследственности в литых сплавах алюминия.

6. Проведите анализ схемы строения расплава с унаследованной структурной неоднородностью.

7. Какие технологические условия способствуют более полной передаче структурной информации от шихты к отливке?

### **Влияние внешних воздействий на процессы затвердевания**

1. Какие физико-химические процессы влияют в наибольшей степени на формирование отливки?

2. Какие методы внешних воздействий влияют на структуру и свойства литого металла?

3. Какое влияние на тепловые процессы в литейной форме оказывает конвекция расплава?

4. К каким положительным результатам приводит перемешивание расплава в процессе затвердевания? Какие методы перемешивания используются на практике?

5. В чем заключается метод газоимпульсного перемешивания расплава?

6. На какие параметры затвердевающего сплава оказывает внешнее давление?

7. На какие параметры кристаллизации металла оказывает влияние

магнитное поле?

8. Запишите математические выражения, отражающие влияние магнитного поля на тепловой эффект кристаллизации, скорость кристаллизации и другие параметры затвердевающего металла.

9. Проведите оценку величины сил вибрационного воздействия на металлический расплав.

10. Какое влияние на структуру литого металла оказывает вибрационное воздействие в процессе затвердевания?

### **7.2.5 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач**

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. Физические свойства металлических расплавов	ОПК-1, ПК-2	Тест, контрольная работа, защита реферата
2	Равновесие между жидкой и твердой фазами и процессы зародышеобразования	ОПК-1, ПК-2	Тест, контрольная работа, защита реферата
3	Многофазное затвердевание и процессы диффузии	ОПК-1, ПК-2	Тест, контрольная работа, защита реферата

4	Управление затвердеванием и структура слитков	ОПК-1, ПВК-2	Тест, контрольная работа, защита реферата
---	---	--------------	---

### 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
<b>1. Основная литература</b>				
	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 теплопереноса: Учебное пособие.	Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный университет», 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.	
<b>2. Дополнительная литература</b>				
	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Обеспеч
Л 2.1	Щетинин А.А., Андрусевич Д.Е.	Физические основы затвердевания металлов и сплавов	ФГБОУ ВПО «Воронеж. гос. техн. ун-т», 2008	
Л 2.2	Печенкина Л.С., Аммер В.А., Сагань Н.М..	Моделирование литейных процессов и объектов металлургии: учеб. пособие	Воронеж: ВГТУ, 2003	
Л2.3	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 «Физические основы затвердевания 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 физических свойств металлов отливок, условий затвердевания. 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; пометать 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.
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 работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: <ul style="list-style-type: none"> <li>- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;</li> <li>- выполнение домашних заданий и расчетов;</li> <li>- работа над темами для самостоятельного изучения;</li> <li>- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;</li> <li>- подготовка к промежуточной аттестации.</li> </ul>
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 три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.