

Донбаська державна машинобудівна академія (ДДМА)  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Кафедра Технології і обладнання ливарного виробництва

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Перший проректор, про-  
ректор з науково-  
педагогічної, навчальної  
та методичної роботи

  
А.М. Фесенко

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 року

## **РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

### **«КРИСТАЛІЗАЦІЯ ТА ВЛАСТИВОСТІ СТАЛІ У ВИЛИВКАХ»**

(шифр і назва навчальної дисципліни)

підготовки: магістра за освітньо-професійною програмою «Металургія»

галузь знань: 13 «Механічна інженерія»

спеціальність 136 «Металургія»

(шифр і назва спеціальності)

професійне спрямування «Ливарне виробництво чорних і кольорових металів та сплавів»

факультет інтегрованих технологій і обладнання (ФІТО)

(назва інституту, факультету, відділення)

2018 рік

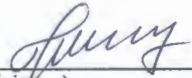
Робоча програма Кристалізація та властивості сталі у виливках для студентів  
(назва навчальної дисципліни)  
 з галузі знань 13 «Механічна інженерія» за освітньо-професійною програмою «Металургія» для професійного спрямування «Ливарне виробництво чорних і кольорових металів та сплавів», „28” 08 2018 року – 14 с.

Розробник: **Агравал Павло Гянович**, доцент каф. ТОЛВ, к. х. н.

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри Технології і обладнання ливарного виробництва

Протокол від “ 28 ” 08 2018 року № 1

Завідувач кафедри ТОЛВ

  
 \_\_\_\_\_ (підпис)  
 ( Агравал П.Г. ) (прізвище та ініціали)  
 “ 28 ” 08 2018 року

©Агравал П.Г., 2018 рік

©ДДМА, 2018 рік

### 1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни
		<b>Денна форма навчання</b>
Кількість кредитів – 4	Галузь знань <u>13 «Механічна інженерія»</u> (шифр і назва)	<b>Обов'язкова</b>
	<u>136 «Металургія»</u> (шифр і назва)	
	Професійне спрямування: <u>Ливарне виробництво чорних та кольорових металів і сплавів</u>	<b>Рік підготовки:</b>
		1-й
Індивідуальне науково-дослідне завдання _____ (назва)		<b>Семестр</b>
Загальна кількість годин - 120		1
		<b>Лекції</b>
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 3 самостійної роботи студента - 5	Освітньо-кваліфікаційний рівень: магістр	30 год.
		<b>Практичні, семінарські</b>
		-
		<b>Лабораторні</b>
		15 год.
		<b>Самостійна робота</b>
		75 год.
		<b>Індивідуальні завдання:</b>
Вид контролю: екзамен		

#### Примітка.

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить:

для денної форми навчання – 3/5 (45/75)

## 2. Мета та завдання навчальної дисципліни

**Мета викладання дисципліни** – формування професійних знань у майбутніх інженерів-ливарників, необхідних для подальшої діяльності в умовах машинобудівельних та металургійних підприємств України. Передбачається глибоке вивчення питань, необхідних для розуміння процесів кристалізації, фізичних та ливарних властивостей сталевих виливків, особливостей отримання високоякісної сталі у плавильних агрегатах та ливарних формах.

**Завдання:** Основне завдання вивчення дисципліни – навчити майбутніх фахівців теоретичним основам виробництва високоякісних сталевих виливків.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

### **Знати:**

- фізичні та технологічні властивості сталі;
- теплові процеси в ливарній формі;
- теорію формування кристалічної структури сталевих виливків;
- особливості формування властивостей сталі в виливках.

### **Вміти:**

- приймати технічно вірні рішення для отримання виливків із заданими властивостями;
- обґрунтовувати вибір матеріалів, основного та допоміжного обладнання для реалізації металургійних технологій при виробництві виливків зі сталі;
- співвідносити хімічний склад, структуру і властивості матеріалів при виробництві виливків зі сталі;
- виявляти та аналізувати природу дефектів і причини утворення дефектів у виливках;
- вміти призначати вірний режим отримання рідкої сталі.

### **Опанувати навиками:**

- роботи з довідково-нормативною та іншою технічною документацією й літературою з властивостей ливарних сталей.

## 3. Програма навчальної дисципліни

**3.1. Розділ 1. Вступ. Властивості розплаву і теплові процеси в ливарній формі після заливки сталі. (Лекційні заняття - 10 годин).**

**3.1.1. Вступ. Властивості розплаву і теплові процеси в ливарній формі після заливки сталі. (Лекційні заняття - 10 годин).**

3.1.1.1. Вступ. (Лекційні заняття – 0,5 годин).

3.1.1.2. Тема Т1. Рідкий стан металів і сплавів. (Лекційні заняття – 1,5 години).

3.1.1.3. Тема Т2. Ливарні властивості металевих розплавів. Теплові процеси в ливарній формі. (Лекційні заняття - 8 годин).

### **3.2. Розділ 2. Кристалізаційні процеси при твердінні сталевих виливоч. (Лекційні заняття - 12 годин).**

3.2.1.1. Тема Т3. Термодинамічна теорія кристалізації. (Лекційні заняття - 2 години).

3.2.1.2. Тема Т4. Типи кристалічної структури і кристалізація сплавів, що утворюють тверді розчини. (Лекційні заняття - 10 годин).

### **3.3. Розділ 3. Властивості сталі в виливках. (Лекційні заняття - 8 годин).**

3.3.1.1. Тема Т5. Властивості сталі в виливках. Ліквідаційні та усадкові процеси при затвердінні відливок. Напруги і тріщини в виливках. (Лекційні заняття - 6 годин).

3.3.1.2. Тема Т6. Нанотехнології і нові ливарні процеси. (Лекційні заняття - 2 години).

## **4. ЛЕКЦІЇ**

### **4.1. Розділ 1. Вступ. Властивості розплаву і теплові процеси в ливарній формі після заливки сталі. (Лекційні заняття - 10 годин).**

4.1.1. Вступ. Властивості розплаву і теплові процеси в ливарній формі після заливки сталі. (Лекційні заняття - 10 годин).

4.1.1.1. Вступ. (Лекційні заняття – 0,5 годин).

4.1.1.2. Тема Т1. Рідкий стан металів і сплавів.

**Лекція 1.** Вступ. Рідкий стан металів і сплавів.

Вступ. Загальні уявлення про рідкий стан. Уявлення про моделі рідкого стану.

*Дидактичні засоби:* слайди

*Посилання на літературу:* [6] 54-57, [4] 10-38; [1–3].

*Завдання на СРС:* Рідкий та кристалічний стан металів і сплавів. Складання конспекту за рекомендованою літературою.

**Лекція 2.** Фізичні властивості металевих розплавів.

Температура плавлення і щільність металів і сплавів. В'язкість металів і сплавів. Теплові властивості рідких металів. Поверхневий натяг і змочування розплавів.

*Дидактичні засоби:* слайди

*Посилання на літературу:* [6] 54-57, [4] 10-38; [1–3].

*Завдання на СРС:* Фізичні властивості сталей. Складання конспекту за рекомендованою літературою.

4.1.1.3. Тема Т2. Ливарні властивості металевих розплавів. Теплові процеси в ливарній формі.

**Лекція 3.** Ливарні властивості металевих розплавів.

Рідкотекучість сплавів. Взаємодія з газами. Неметалеві включення.

*Дидактичні засоби:* слайди

*Посилання на літературу:* [4] 82-93, 131-140, 140-148; [1–3].

*Завдання на СРС:* Ливарні властивості сталей. Методи визначення рідкоплинності розплаву. Складання конспекту за рекомендованою літературою.

**Лекція 4.** Теплові процеси в ливарній формі.

Теплофізичні властивості матеріалів ливарних форм. Регулювання теплофізичних процесів в ливарній формі. Складання конспекту за рекомендованою літературою.

*Дидактичні засоби:* слайди

*Посилання на літературу:* [4] 82-93, 131-140, 140-148; [1–3].

*Завдання на СРС:* Теплофізичні властивості матеріалів ливарних форм.

**Лекція 5.** Інженерні методи розрахунку теплових процесів, що відбуваються в ливарній формі.

*Дидактичні засоби:* слайди

*Посилання на літературу:* [4] 82-93, 131-140, 140-148; [1–3].

*Завдання на СРС:* Інженерні методи розрахунку теплових процесів, що відбуваються в ливарній формі. Складання конспекту за рекомендованою літературою.

## **4.2. Розділ 2. Кристалізаційні процеси при твердінні сталевих виливоч. (Лекційні заняття - 12 годин).**

### 4.2.1.1. Тема Т3. Термодинамічна теорія кристалізації.

**Лекція 6.** Термодинамічна теорія кристалізації.

Термодинамічна теорія кристалізації. Процеси утворення зародків і росту кристалів.

*Дидактичні засоби:* слайди

*Посилання на літературу:* [4] 149-153, 153-159, 159-174; [1, 3].

*Завдання на СРС:* Спонтанна та вимушена кристалізації металу. Складання конспекту за рекомендованою літературою.

### 4.2.1.2. Тема Т4. Типи кристалічної структури і кристалізація сплавів, що утворюють тверді розчини.

**Лекція 7.** Кристалізація сплавів.

Кристалізація чистих металів і структура злитків. Об'ємна і послідовна кристалізація. Кристалізація на домішках.

*Дидактичні засоби:* слайди

*Посилання на літературу:* [4] 174-184, 184-204; [1, 3, 7].

*Завдання на СРС:* Складання конспекту за рекомендованою літературою.

**Лекція 8.** Типи кристалічної структури і кристалізація сплавів, що утворюють тверді розчини.

Будова кристалічної структури сплаву після кристалізації. Кристалізація твердого розчину.

*Дидактичні засоби:* слайди

*Посилання на літературу:* [4] 174-184, 184-204; [1, 3, 7].

*Завдання на СРС:* Складання конспекту за рекомендованою літературою.

**Лекція 9.** Дендритна кристалізація сплавів і формування рівновісних кристалів.

*Дидактичні засоби:* слайди

*Посилання на літературу:* [4] 174-184, 184-204; [1, 3, 7].

*Завдання на СРС:* Складання конспекту за рекомендованою літературою.

**Лекція 10.** Дендритна кристалізація сплавів і формування рівновісних кристалів. Дендритна кристалізація сплавів. Формування рівноосних кристалів.

*Дидактичні засоби:* слайди

*Посилання на літературу:* [4] 174-184, 184-204; [1, 3, 7].

*Завдання на СРС:* Складання конспекту за рекомендованою літературою.

**Лекція 11.** Керування кристалізаційними процесами.

*Дидактичні засоби:* слайди

*Посилання на літературу:* [4] 174-184, 184-204; [1, 3, 7].

*Завдання на СРС:* Керування кристалізаційними процесами. Модифікатори першого та другого роду.

### **4.3. Розділ 3. Властивості сталі в виливках. (Лекційні заняття - 8 годин).**

4..3.1.1. Тема Т5. Властивості сталі в виливках. Ліквідаційні та усадкові процеси при затвердінні відливок. Напруги і тріщини в виливках.

**Лекція 12.** Властивості сталі в виливках. Ліквідаційні процеси при затвердінні відливок.

*Дидактичні засоби:* слайди

*Посилання на літературу:* [5] 163-167, 241-246, [4] 221-238, 251-264; [2, 8].

*Завдання на СРС:* Ліквідація пряма, обратна, дендритна та зональна.

**Лекція 13.** Усадкові процеси при затвердінні відливок.

Механізм усадки і утворення усадкових дефектів. Етапи і коефіцієнти усадки.

*Дидактичні засоби:* слайди

*Посилання на літературу:* [5] 163-167, 241-246, [4] 221-238, 251-264; [2, 8].

*Завдання на СРС:* Основні причини та фактори, що знижують точність лінійних розмірів і сприяють коробленню та скривленню виливків.

**Лекція 14.** Напруги і тріщини в виливках.

Напруження і тріщини в виливках. Технологічні заходи по боротьбі з тріщинами в виливках.

*Дидактичні засоби:* слайди

*Посилання на літературу:* [5] 163-167, 241-246, [4] 221-238, 251-264; [2, 8].

*Завдання на СРС:* Складання конспекту за рекомендованою літературою.

4.3.1.2. Тема Т6. Нанотехнології і нові ливарні процеси.

**Лекція 15.** Нанотехнології і нові ливарні процеси.

Загальна характеристика наноматеріалів. Методи синтезу нанокристалічних порошків. Нанотехнології в ливарних процесах.

*Дидактичні засоби:* слайди

*Посилання на літературу:* [4] 267-274.

*Завдання на СРС:* Складання конспекту за рекомендованою літературою.

## **5. Структура навчальної дисципліни**

Назви змістових розділів і тем	Кількість годин					
	Денна форма навчання					
	усього	у тому числі				
лек		пр	лаб	інд	с.р.	
<b>Розділ 1</b>						
<b>Вступ. Властивості розплаву і теплові процеси в ливарній формі після заливки сталі.</b>						
Вступ	0,5	0,5	-	-	-	-
Тема Т1. Рідкий стан металів і сплавів.	9,5	3,5	-	-	-	6
Тема Т2. Ливарні властивості металевих розплавів. Теплові процеси в ливарній формі.	22	6	-	4	-	12
Разом за 1 розділом	32	10	-	4	-	18
<b>Розділ 2</b>						
<b>Кристалізаційні процеси при твердінні сталевих виливків.</b>						
Тема Т3. Термодинамічна теорія кристалізації.	18	2	-	4	-	12
Тема Т4. Типи кристалічної структури і кристалізація сплавів, що утворюють тверді розчини.	30	10	-	2	-	18
Разом за 2 розділом	48	12	-	6	-	30
<b>Розділ 3</b>						
<b>Властивості сталі в виливках.</b>						
Тема Т5. Властивості сталі в виливках. Ліквідаційні та усадкові процеси при затвердінні відливок. Напруги і тріщини в виливках.	31	6		5		20
Тема Т6. Нанотехнології і нові ливарні процеси.	9	2		-		7
Разом за 3 розділом	40	8		5		27
Усього годин	120	30	-	15	-	75

### 6. Теми лабораторних робіт

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Комп'ютерне моделювання процесу дослідження ливарних властивостей рідкої сталі	4
2	Комп'ютерне моделювання процесу кристалізації рідкої сталі і побудова термічних кривих кристалізації	4
3	Застосування сучасних CAD/CAE-систем для дослідження кінетики тверднення сталевих виливків	2
4	Дослідження впливу конструкції ливникової системи на якість виливків	2
5	Технологічні особливості виготовлення виливків зі спеціальних сталей	3
	Разом	15



Лабораторні роботи проводяться з метою покращення засвоєння студентами теоретичної частини курсу, розвитку у студентів навичок з дослідження процесів кристалізації сталі, застосуванню CAD/CAE-систем для дослідження ливарних процесів, вивчення впливу особливостей ливникової системи на утворення сталевих виливків та дослідження особливостей технології сталевого литва.

### 7. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Вступ	-
2	Тема Т1. Рідкий стан металів і сплавів.	6
3	Тема Т2. Ливарні властивості металевих розплавів. Теплові процеси в ливарній формі.	12
4	Тема Т3. Термодинамічна теорія кристалізації.	12
5	Тема Т4. Типи кристалічної структури і кристалізація сплавів, що утворюють тверді розчини.	18
6	Тема Т5. Властивості сталі в виливках. Ліквідаційні та усадкові процеси при затвердінні відливок. Напруги і тріщини в виливках.	20
7	Тема Т6. Нанотехнології і нові ливарні процеси.	7
	Разом	75

### 8. Індивідуальні завдання

На протязі 1 семестру студенти паралельно з аудиторними лекційними заняттями виконують лабораторні роботи та індивідуальні домашні завдання, які полягають в повторенні вивчених курсів, роботі над літературою та конспектом, і готуються до написання контрольних робіт та екзамену по дисципліні.

### 9. Методи навчання

За джерелами знань використовуються такі методи навчання: словесні – розповідь, пояснення, лекція, інструктаж; наочні – демонстрація, ілюстрація; практичні – лабораторна робота.

За характером логіки пізнання використовуються такі методи: аналітичний, синтетичний, аналітико-синтетичний, індуктивний, дедуктивний.

За рівнем самостійної розумової діяльності використовуються методи: проблемний, частково-пошуковий, дослідницький.

При викладанні дисципліни передбачається використання мультимедійних засобів, фолій для графопроектора, слайдів, комп'ютерних презентацій і натурних зразків. Розглядаються характерні теоретичні основи ливарного виробництва

сталевих виливків. Особлива увага приділяється сучасним програмним засобам та методикам моделювання ливарних процесів.

Для покращення засвоювання матеріалу студентами їм рекомендується поглиблене самостійне вивчення окремих питань із записом у конспект лекцій. Успіх вивчення дисципліни залежить від систематичної самостійної роботи студента з матеріалами лекцій, підготовки до та виконання лабораторних робіт, роботі з рекомендованою літературою.

## 10. Методи контролю

Для студентів денної форми навчання передбачається три контрольні роботи, мета якої - закріпити знання, отримані при вивченні дисципліни «Кристалізація та властивості сталі у виливках». Контрольні роботи містить у собі проробку теоретичних питань курсу по літературі, що рекомендується. Питання щодо теоретичної частини курсу наведені у додатку А.

Підсумковий контроль знань включає наступні види:

- проміжний контроль за результатами контрольної роботи;
- екзамен після завершення вивчення дисципліни наприкінці 1 семестру.

Підсумкова оцінка виставляється за 100-бальною шкалою ECTS. Переведення набраних студентом балів за 100-бальною шкалою в оцінки за національною (5-бальною) шкалою та шкалою ECTS здійснюється в відповідності до таблиці:

### Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою
		для екзамену
90 – 100	<b>A</b>	Відмінно
82-89	<b>B</b>	Добре
74-81	<b>C</b>	
64-73	<b>D</b>	Задовільно
60-63	<b>E</b>	
35-59	<b>FX</b>	незадовільно
0-34	<b>F</b>	

Контроль знань студентів передбачає проведення поточного і підсумкового контролю.

Поточний контроль знань студентів включає наступні види:

- вибіркового усного опитування перед початком кожної лабораторної роботи по темі заняття;
- захист кожної лабораторної роботи з виставленням оцінок (балів);
- письмові контрольні роботи з окремих модулів дисципліни.

Підсумковий контроль знань включає наступні види:

- модульний контроль за результатами захисту лабораторних робіт, тестового контролю знань і контрольних робіт;
- екзамен (письмовий) після завершення вивчення дисципліни наприкінці 1-го семестру;

Контрольні роботи з теоретичної частини дисципліни за модулями розподілені таким чином

№ теми	Тема контрольної роботи	Кількість варіантів
T1, T2	<i>КР1</i> за темами: Рідкий стан металів і сплавів. Ливарні властивості металевих розплавів. Теплові процеси в ливарній формі.	15
T3, T4	<i>КР2</i> за темами: Термодинамічна теорія кристалізації. Типи кристалічної структури і кристалізація сплавів, що утворюють тверді розчини.	15
T5, T6	<i>КР3</i> за темами: Властивості сталі в виливках. Ліквідаційні та усадкові процеси при затвердінні відливок. Напруги і тріщини в виливках. Нанотехнології і нові ливарні процеси.	15

Приблизний перелік основних питань для підготовки до контрольних робіт та до підсумкового контролю знань студентів наведені в додатку А.

### 11. Методичне забезпечення

1. Робоча програма по дисципліні „Кристалізація та властивості сталі у виливках” з галузі знань 13 «Механічна інженерія» за освітньо-професійною програмою «Металургія» для професійного спрямування «Ливарне виробництво чорних і кольорових металів та сплавів». / Укл. П.Г. Агравал. – Краматорськ: ДГМА, 2018. – 14 с.
2. Кристалізація та властивості сталі у виливках. Конспект лекцій для студентів спеціальності 136 «Металургія» професійного спрямування «Ливарне виробництво чорних і кольорових металів та сплавів» / Укл. П.Г. Агравал. – Краматорськ: ДГМА, 2018.
3. Кристалізація та властивості сталі у виливках : методичні вказівки до лабораторних робіт для студентів спеціальності 136 «Металургія» денної та заочної форм навчання / укл. : О. Р. Абдулов. – Краматорськ : ДДМА, 2016. – 41 с.. – ел. варіант.

### 12. Рекомендована література

#### Базова

1. **Пикунов, М.В.** Плавка металлов, кристаллизация сплавов, затвердевание отливок: Учеб. пособие для вузов. – М.: МИСИС, 1997. – 376 с.
2. **Бабаскин, Ю.З.** Структура и свойства литой стали. Киев: Наукова думка,

1980. – 240 с.

3. **Гаврилин, И.В.** Плавление и кристаллизация металлов и сплавов: монография. – Владимир, 2000. – 260 с. **ISBN: 5-89368-175-4.**

4. **Мамина, Л. И.** Теория плавки и свойства литейных сплавов : учеб. пособие. – Красноярск: ГАЦМиЗ, 1997. – 160 с.

5. Производство стальных отливок / Козлов Л. Я., Колокольцев В. М., Вдовин К. Н. и др. – М.: МИСИС, 2003. – 352 с.

6. **Гуляев, Б.Б.** Теория литейных процессов. – Л.: Машиностроение, 1976. – 216 с.

7. **Ершов, Г.С.** Структура и свойства жидких и твёрдых металлов / Г.С. Ершов, В.А. Черняков – М.: Металлургия, 1978. – 248 с.

8. Корольков А. М. Литейные свойства металлов и сплавов. – М.: Наука, 1987. – 196 с.

### Допоміжна

1. **Баландин, Г.Ф.** Теория формирования отливки. Основы тепловой теории. Застывание и охлаждение отливки – М. : Изд-во МГТУ им. Баумана, 1998 – 360 с. **ISBN 5-7038-1048-5.**

2. **Чуркин, Б.С.** Теория литейных процессов. – Екатеринбург : Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2006. – 454 с. **ISBN 5-8050-0174-8.**

3. Стальное литье : монография / Г. Е. Федоров, М. М. Ямшинский, Е. А. Платонов, Р. В. Лютый; ред.: Л. Н. Сыропоршнев. - К. : Випол, 2013. - 896 с.

4. **Голод, В. М.** Теория, компьютерный анализ и технология стального литья / В. М. Голод, В. А. Денисов ; под общ. ред. В. М. Голода. - СПб. : ИПЦ СПГУТД, 2007. - 610 с.

## Питання до контрольної роботи по розділу 1

1. Загальні уявлення про рідкий стан металів.
2. Уявлення про моделі рідкого стану металів.
3. Температура плавлення і щільність металів і сплавів.
4. В'язкість металів і сплавів.
5. Теплові властивості рідких металів.
6. Поверхневий натяг і змочування розплавів.
7. Рідкоплинність сплавів.
8. Взаємодія металів з газами.
9. Неметалічні включення в сталі.
10. Теплофізичні властивості матеріалів ливарних форм.
11. Регулювання теплофізичних процесів в ливарній формі.
12. Інженерні методи розрахунку теплових процесів, що відбуваються в ливарній формі.
13. Утворення зародків і ріст кристалів.
14. Кристалізація чистих металів і структура злитків.
15. Об'ємна і послідовна кристалізація.
16. Кристалізація на домішках.

## Питання до контрольної роботи по розділу 2

1. Процеси, що відбуваються при кристалізації двофазних сплавів при охолодженні від температури заливки до температури вибивання.
2. Температурний і концентраційний інтервали кристалізації, коефіцієнти розподілу компонентів.
3. Дендритна кристалізація сплавів.
4. Формування рівноосних кристалів.
5. Управління кристалізаційними процесами.
6. Умови формування дрібнозернистої рівнісної і стовпчастої структур.
7. Зональна ліквіація.
8. Осьова і позавісна неоднорідності.
9. Механізм усадки і утворення усадкових дефектів.
10. Етапи і коефіцієнти усадки.
11. Напруження і тріщини в виливках.
12. Технологічні заходи по боротьбі з тріщинами в виливках.
13. Загальна характеристика наноматеріалів.
14. Методи синтезу нанокристалічних порошків.
15. Нанотехнології в ливарних процесах.