

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ**

**РОБОЧА ПРОГРАМА,  
методичні вказівки та індивідуальні завдання  
до вивчення дисципліни «Системи технологій промисловості»  
для студентів напрямів 152 – економіка, 071 – облік і оподаткування,  
072 – фінанси, банківська справа та страхування,  
076 – підприємництво, торгівля та біржова діяльність**

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
ЛІТЕРАТУРА, ЩО РЕКОМЕНДУЄТЬСЯ .....	3
Розподіл навчальних годин дисципліни «Системи технологій промисловості»..	4
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВИРОБНИЦТВО ЧАВУНУ .....	5
1.1 Вихідні матеріали, що використовуються при виробництві чавуну .....	5
1.2 Підготовка руди до плавки.....	6
1.3 Вогнетривкі матеріали .....	8
1.4 Конструкція доменної печі.....	8
1.5 Допоміжні пристрої доменної печі.....	9
1.6 Доменний процес.....	10
1.7 Фізико-хімічні процеси в доменній печі.....	11
1.8 Процеси відновлення інших елементів і шлакоутворення в доменній печі .	12
1.9 Продукти доменного виробництва.....	12
2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВИРОБНИЦТВО СТАЛІ .....	13
2.1 Бесемерівський і томасівський способи виробництва сталі .....	13
2.2 Киснево-конвертерна плавка .....	13
2.3 Виробництво сталі мартенівським способом .....	14
2.4 Виплавка сталі в електропечах .....	16
2.5 Розливання сталі .....	17
2.6 Класифікація сталей .....	18
3 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВИРОБНИЦТВО ФЕРОСПЛАВІВ.....	19
3.1 Використання і способи отримання феросплавів .....	19
3.2 Будова феросплавної печі.....	21
3.3 Виробництво феросиліцію .....	21
3.4 Виробництво високовуглецевого феромарганцю .....	22
3.5 Технологія виробництва силікомарганцю .....	23
4 ТЕМИ НАВЧАЛЬНОЇ ПРОГРАМИ.....	23
5 ПИТАННЯ ДО ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАВДАННЯ.....	29

## **ВСТУП**

Дисципліна "Системи технологій промисловості" має мету дати студентам економічних спеціальностей необхідні знання з виробництва чорних металів і сплавів, частка яких складає 90 % всього металургійного виробництва.

На сьогодні найбільше використання має двоступінчастий спосіб отримання сталі, що включає виплавку чавуну в доменних печах і різних видів сталеплавильних переділів. Сучасний рівень металургійного виробництва заснований не тільки на знанні технології і устаткування металургійних виробництв, але й процесів, що супроводжують виплавку чавуну, сталі та феросплавів. В методичних вказівках наведений короткий огляд основних металургійних переділів, виробничих агрегатів, допоміжного устаткування, технологічних особливостей виробництва чавуну, сталі та феросплавів.

Вивчення дисципліни для студентів напрямів 051 – економіка, 076 – підприємництво, торгівля та біржова діяльність, 072 – фінанси, банківська справа та страхування, 071 – облік і опадаткування включає лекції за розділами дисципліни, самостійну роботу над підручниками, виконання практичних робіт та індивідуального завдання.

Виконане індивідуальне завдання повинно бути надано для перевірки викладачу. Після вивчення дисципліни "Системи технологій промисловості" студент здає диференційний залік.

## **ЛІТЕРАТУРА, ЩО РЕКОМЕНДУЄТЬСЯ**

1. Воскобойников В.Г. Общая металлургия / В.Г. Воскобойников, В.А. Кудрин, А.М. Якушев ; под. ред. В.Г. Воскобойникова. – [3-е изд.]. – М. : Металлургия, 1979. – 487 с.
2. Линчевский Б.В. Металлургия черных металлов : учеб. для техникумов / Б.В. Линчевский, А.Л. Соболевский, А.А. Кальменев. - [2-е изд.]. – М. : Металлургия, 1986. – 360 с.
3. Ефименко Г.Г. Металлургия чугуна / Г.Г. Ефименко, А.А. Гиммельфарб, В.Е. Левченко. - [2-е изд.]. – К. : Вища школа, 1974. – 488 с.

4. Металлургия чугуна / [Вегман Е.Ф., Жеребин Б.Н., Похвиснев А.Н. и др.]. - М. : Metallurgy, 1989. – 512 с.
5. Кудрин В.А. Металлургия стали : учеб. для вузов / В.А. Кудрин. - [2-е изд.]. – М. : Metallurgy, 1989. – 560 с.
6. Бигеев А.М. Металлургия стали / А.М. Бигеев. – М. : Metallurgy, 1977. – 440 с.
7. Технология производства стали в современных конвертерных цехах / [С.В. Колпаков, Р.В. Старов, В.В. Смоктий и др.] ; под. ред. С.В. Колпакова. – М. : Машиностроение, 1991. – 464 с.
8. Соколов Г.А. Внепечное рафинирование стали / Соколов Г.А. – М. : Metallurgy, 1977. – 208 с.
9. Гасик М.И. Электрометаллургия ферросплавов: Учебник для вузов / М.И. Гасик, Б.И. Емлин. - Киев; Донецк: Вища школа, 1983. – 376 с.
10. Гасик М. И. Теория и технология производства ферросплавов / М. И. Гасик, Н. П. Лякишев, Б. И. Емлин. – М. : Metallurgy, 1992. – 668 с.
11. Рысс М.А. Производство ферросплавов / М.А. Рысс. – М. : Metallurgy, 1985. – 344 с.

**Розподіл навчальних годин**  
**дисципліни «Системи технологій промисловості»**

	Усього	семестр II
Усього часів за навчальним планом	90	90
у тому числі: Аудиторні заняття	12	12
з них:		
- лекції	8	8
- лабораторні заняття	-	-
- практичні заняття	4	4
- семінари	-	-
Самостійна робота	78	78
Кількість індивідуальних завдань	1	1
Підсумковий контроль		Диф. залік

## **1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВИРОБНИЦТВО ЧАВУНУ**

Область технології металів, що займається вивченням способів виробництва металів і сплавів, називається металургією. Відповідно до загальної класифікації металів її можна розділити на металургію чорних металів і металургію кольорових металів.

Найбільш використовуються в промисловості чорні метали та сплави на їх основі, до яких, в першу чергу, відносять сплави заліза з вуглецем - сталі та чавуни, що мають цінні фізико-механічні властивості.

Для виплавки чавуну використовують шихту - суміш матеріалів, що підлягає переробці в доменних печах. Шихта для виробництва чавуну складається з підготовленої руди, палива і флюсів, взятих в певних співвідношеннях.

Руда представлена різними оксидами заліза. Паливо забезпечує необхідну температуру для плавлення компонентів шихти, вуглець палива бере участь в процесах відновлення і входить до складу залізовуглецевих сплавів. Флюси знижують температуру плавлення пустої породи - з'єднань, що не містять елементів, необхідних для отримання чавуну.

### ***1.1 Вихідні матеріали, що використовуються при виробництві чавуну***

Руда - гірська порода, в якій залізо знаходиться у вигляді хімічних сполук з киснем, сіркою і іншими елементами. В руді знаходяться інші з'єднання, що не містять заліза, такі як кремнезем ( $\text{SiO}_2$ ), глинозем ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) і ін. Вони практично повністю переходять в шлак.

В рудах присутні такі залізовмісні мінерали: магнітний залізняк, червоний залізняк, бурий залізняк, шпатовий залізняк.

Магнітний залізняк складається, головним чином, з мінералу магнетиту ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Ця руда містить 60-70% заліза і невелику кількість шкідливих домішок (сірки і фосфору), вона важка, майже чорного кольору, має високу щільність і володіє магнітними властивостями.

Червоний залізняк містить, в основному, мінерал гематит - безводний оксид заліза ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Руда червоного кольору з різними відтінками, рихла і пориста, внаслідок чого залізо легше відновлюється.

Бурий залізняк є водним оксидом заліза і зустрічається у вигляді лимоніту ( $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) і гетиту ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ). Руда бурого кольору з відтінками.

Шпатовий залізняк - це вуглекислі з'єднання заліза - сидерити ( $\text{FeCO}_3$ ), найбільш руда. Вона сірого, жовтуватого або бурого кольору.

Виплавка чавуну відбувається при високій температурі. Джерелом тепла є паливо, яке бере участь в хімічних реакціях, що протікають при виробництві чавуну.

Паливо для виробництва чавуну повинно мати високу теплотворну здатність, міцність, пористість, невелику зольність і мінімальний вміст сірки. Цим вимогам відповідає кокс. Він добре горить, розвиває високу температуру і зберігає достатню міцність. Кокс є основним видом палива при виплавці чавуну.

Одержують кокс шляхом сухої перегонки кам'яного вугілля, що коксується, в коксівних печах. Процес коксування полягає в нагріванні вугілля без доступу повітря до температури 1000-1100 °C.

Для нормального ходу доменного процесу необхідно, щоб домішки плавилися при певній температурі після відновлення з руди заліза. Температури плавлення домішок і золи палива, що є в шихті, значно вище необхідних.

Для зниження температури плавлення пустої породи і золи в доменну піч вводять флюси, що сплавляються з порожньою породою руди і золою, утворюючи шлак. Флюсом при отриманні чавуну є вапняк.

## ***1.2 Підготовка руди до плавки***

Залежно від характеристики руди, що добувається, застосовують наступні стадії підготовки: 1) дроблення; 2) сортування за крупністю; 3) збагачення; 4) обпал; 5) усереднення; 6) окускування.

Машини, що застосовують для дроблення - дробарки, дозволяють зменшувати розмір кусків до 5-6 мм. Процес отримання менших фракцій називають подрібненням. Його здійснюють в млинах різних конструкцій.

Дроблення і подрібнення майже завжди супроводжуються грохоченням і класифікацією - процесами, мета яких - розділення кусків і частинок руди за крупністю. Відмінність грохочення від класифікації полягає в тому, що при грохоченні проводять сортування кусків на ситах, а класифікацією розділяють

дрібні кусочки і частинки (менше 1-3 мм) у водному або в повітряному середовищі.

Збагачення - розділення руди на концентрат з високим вмістом рудного мінералу і хвосту з низьким його вмістом. Існують такі способи збагачення корисної копалини: 1) промивка; 2) гравітаційне збагачення; 3) магнітна сепарація; 4) флотація.

Промивка ефективна для матеріалів з м'якою, особливо глинистою порожньою породою і щільними мінералами металу. Гравітаційне збагачення засновано на відділенні корисних мінералів від порожньої породи за відмінністю їх питомої щільності. Магнітна сепарація ґрунтується на різній магнітній сприйнятливості залізовмісних мінералів і частинок порожньої породи. Флотація ґрунтується на різній змочуваності поверхні зерен рудних мінералів і пустої породи.

Окислювальне випалення (нагрів руди до високих температур 900-1000°C в атмосфері повітря) проводять для видалення CO<sub>2</sub> карбонатів і сірки (у вигляді SO<sub>2</sub>). Мета відновлювального випалення (нагрів руди у відновлювальній атмосфері) полягає в перетворенні слабомагнітного оксиду Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в сильномагнітний Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> за реакцією  $Fe_2O_3 + CO(H_2) = Fe_3O_4 + CO_2(H_2O)$ .

Усереднювання полягає у перемішуванні великої маси рудного матеріалу для отримання постійного вмісту заліза.

Одержані після збагачення руд тонкоподрібнені концентрати (<0,1 мм) не можна використовувати в доменній печі, оскільки вони не забезпечують високої газопроникності шихти. Перетворення дрібних частинок рудних концентратів і деяких інших матеріалів у крупніші куски складає основну мету процесів окускування. Агломерація - це термічний спосіб окускування дрібних матеріалів для поліпшення їх металургійних властивостей, що здійснюється шляхом спалювання дрібного палива в шарі матеріалу за рахунок безперервного проходження повітря. Способом окускування тонкоподрібнених концентратів (<0,1 мм) є отримання обкотишів (кульок діаметром 15-20 мм). Технологія виробництва залізорудних обкотишів складається із двох стадій: 1) отримання сирих обкотишів з концентрату; 2) зміцнюючого випалу.

### ***1.3 Вогнетривкі матеріали***

Металургійні процеси протікають при високих температурах. Тому металургійні агрегати футерують вогнетривкими матеріалами. Вони повинні бути механічно міцними, не розм'якшуватися і не розтріскуватися при високих температурах, не вступати в хімічні реакції з пічними газами, розплавленими шлаком та металом.

Вогнетриви - це матеріали, температура оплавлення яких не нижче 1500°C. Захисне внутрішнє облицьовування печей називається футеровкою.

Всі вогнетривкі матеріали розподіляються на кислі, основні і нейтральні. До кислих матеріалів відноситься динас, основу якого складає кремнезем (90-96%). Його вогнетривкість 1670-1730 °C.

До основних вогнетривких матеріалів відносять магнезит, доломіт і хромомагнезит. Магнезит ( $\text{MgO}$ ) - тугоплавкий матеріал (температура плавлення 2000-2200 °C), володіє хімічною стійкістю. Доломіт – містить, в основному,  $\text{CaO}$  і  $\text{MgO}$ . Його вогнетривкість 1800-1900 °C. Хромомагнезит містить оксид хрому ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) і оксид магнію ( $\text{MgO}$ ). Вогнетривкість хромомагнезиту 2000°C, він витримує коливання температури і не розтріскується при різких термозмінах.

Нейтральними вогнетривкими матеріалами є шамот і хромовий залізняк. Шамот відносно дешевий вогнетривкий матеріал, що містить 35-42%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 45-64%  $\text{SiO}_2$  і незначну кількість  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Шамот має достатню вогнетривкість (температура плавлення 1600-1700 °C), трохи розтріскується при високих температурах. Хромовий залізняк є нейтральним вогнетривким матеріалом (вогнетривкість його 1850-1950 °C), міцний і не чутливий до змін температури.

Поди доменних печей футерують вуглецевими блоками, що складаються з суміші антрациту, коксу або графіту з маслопеком і високоглиноземистими вогнетривкими матеріалами.

### ***1.4 Конструкція доменної печі***

Виплавка чавуну здійснюється в доменній печі, що представляє шахтну піч безперервної дії. Зверху в піч завантажується шихта, що по ходу плавки



опускається вниз. Назустріч шихті знизу підіймаються гази. Доменні печі мають висоту, в середньому, 30 м.

Верхня частина називається колошником. Через колошник в піч завантажуються шихта і з печі відводяться колошникові гази. Для завантаження шихти використовується колошниковий пристрій. Нижче після колошника розташовується шахта. Щоб шихта, що нагрівається, опускалася в процесі плавки, шахта в нижній частині має більший діаметр. Найширша частина печі - розпар - має циліндричну форму. Нижній відсічений конус – заплечики - звужується донизу, для утримання шихти, що знаходиться в шахті і розпарі. В нижній частині доменної печі - горні - йде горіння коксу і накопичуються рідкий чавун і шлак. Нижня частина горна - під. У верхній частині горна рівномірно по колу розташовані 12-20 отворів - фурм, через які повітродувними машинами під тиском подається в піч підігріте до температури 900-1100 °С повітря, що забезпечує горіння палива.

Частина горна, яка розташована нижче фурм, називається металоприймачем. В ньому накопичуються чавун і шлак. В горні, нижче фурм, розташована шлакова льотка - отвір для випуску шлаку, а в нижній частині - чавунна льотка для випуску чавуну.

Основними технологічними характеристиками доменної печі є її корисна висота і корисний об'єм. Корисною висотою називається відстань від осі чавунної льотки до рівня опускання великого конуса засипного апарата. Корисний об'єм - об'єм, заповнений шихтою і продуктами плавки. Доменні печі мають корисний об'єм до 5000 м<sup>3</sup>.

### ***1.5 Допоміжні пристрої доменної печі***

До допоміжних пристроїв доменної печі відносяться газоочисники, повітрянагрівачі, підйомні і завантажувальні пристрої.

Доменні, або колошникові гази, що виділяються під час плавки чавуну, містять значну кількість оксиду вуглецю і водню. Їх можна використовувати як паливо. Проте доменні гази забруднені пилом і перед використанням їх потрібно очистити. Для цього колошникові гази по трубах спрямовують в газоочисники.

Спочатку проводиться грубе очищення в пилоуловлювачах, де під дією відцентрової сили тверді частинки, що знаходяться в газі, відкидаються до

стінок циліндра і падають, а після первинного очищення газ йде далі. Напівтонке очищення газу проводиться в скруберах, де назустріч газу подається вода, що змочує і захоплює тверді частинки. Тонке очищення здійснюється в електрофільтрах або трубах Вентурі.

Для горіння палива в доменну піч безперервно подається повітря. З метою зменшення витрат палива і підвищення продуктивності доменної печі повітря перед подачею в піч нагрівається до температури 900-1100 °С. Підігрів проводиться у повітронагрівачах - кауперах - за рахунок спалювання в них колошникового газу.

Каупер має циліндричну форму (висота 25-40 м, діаметр 6-8 м) з куполоподібним верхом. Всередині він викладений вогнетривкою шамотною цеглою і розділений на дві частини: камеру горіння і насадку з вогнетривкої цегли. Спочатку каупер працює на нагрів. В нього подається газ, змішаний з повітрям. Продукти горіння, проходячи через вертикальні канали насадки, нагрівають кладку до заданої температури і йдуть у димар.

Після нагріву насадки (1-2 години) повітронагрівач перемикають на дуття: припиняють подачу палива і турбоповітродувкою нагнітають холодне повітря, що нагрівається до високої температури, і по трубопроводу поступає в доменну піч. Тривалість режиму дуття приблизно 1 година.

Зазвичай кожна доменна піч має 3-4 повітронагрівачі.

## ***1.6 Доменний процес***

В основі виробництва чавуну лежить процес відновлення заліза з його оксидів (в руді залізо може бути у вигляді  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Відновники - оксид вуглецю, вуглець коксу і водень, що вносяться та утворюються в ході доменного процесу. В результаті фізико-хімічних процесів залізняк втрачає кисень. Відновлене залізо має здатність поглинати вуглець. В результаті утворюється сплав заліза з вуглецем (чавун).

Чавун, що утворюється в доменній печі, накопичується в горні. Він випускається періодично 6-8 разів на добу через чавунну лютку. Для цього в лютці спеціальними бурильними машинами пробивається отвір і рідкий чавун по жолобу прямує в чавуновозні ковші. Після випуску чавуну чавунна лютка закладається вогнетривкою масою.

Шлак накопичується в горні на поверхні чавуну і видаляється через шлакову лютку в шлаковозні ковші і далі на переробку або у відвал. На сучасних крупних доменних печах шлак випускають через чавунну лютку після випуску чавуну.

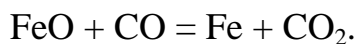
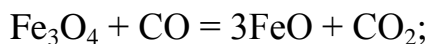
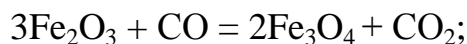
### ***1.7 Фізико-хімічні процеси в доменній печі***

У доменній печі в ході плавки є два потоки: зверху вниз переміщуються шихтові матеріали; знизу підіймаються гарячі відновлювальні гази.

Знизу в піч через фурми надходить нагріте повітря. Кисень повітря взаємодіє з вуглецем коксу за реакцією  $C + O_2 = CO_2 + Q$ .

Реакція йде з виділенням великої кількості тепла, і на рівні фурм температура досягає 1700-2000°C.  $CO_2$ , реагуючи з розжареним коксом, перетворюється в CO за реакцією  $CO_2 + C = 2CO$ . Велика частина цього оксиду вуглецю йде на відновлення оксидів заліза, кремнію, марганцю і інших хімічних елементів.

Просуваючись нижче, шихта потрапляє в зони високих температур, де йдуть процеси відновлення заліза оксидом вуглецю (непряме відновлення) за реакціями:



Відновлення заліза з руди може відбуватися також за рахунок вуглецю коксу (пряме відновлення) при температурі 950-1000 °C  $FeO + C_{\text{кокс}} = Fe + CO$ .

Відновлене залізо, що контактує з оксидом вуглецю, при температурі 820-850 °C навуглицьовується  $3Fe + 2CO = Fe_3C + CO_2$ .

У нижній частині шахти кількість вуглецю в залізі досягає 1%. Утворюється карбід заліза  $Fe_3C$ , що розчиняється в залізі, утворює чавун, знижуючи температуру плавлення заліза.

Подальше насичення заліза вуглецем відбувається, коли метал вже знаходиться в розплавленому стані і проходить через шар гарячого коксу. Залізо, зазвичай, розчиняє приблизно 4 % вуглецю.

## ***1.8 Процеси відновлення інших елементів і шлакоутворення в доменній печі***

Разом з оксидами заліза в шихті присутні оксиди марганцю, кремнію, фосфору і сполуки сірки. В ході доменного процесу ці сполуки вступають в хімічну взаємодію з вуглецем. Ці реакції йдуть з поглинанням теплоти, а тому відновлення цих домішок відбувається при температурі 1000-1200°C. Відновлені марганець, кремній і фосфор переходять в чавун.

Таким чином, виплавлений в доменній печі чавун, окрім заліза і вуглецю, містить кремній, марганець, сірку і фосфор.

При нормальному перебігу плавки в районі розпару починає утворюватися шлак з порожньої породи руди, золи і сірки коксу.

Вапняк, що додається в шихту як флюс, при високій температурі розкладається на оксид кальцію ( $\text{CaO}$ ) і вуглекислий газ ( $\text{CO}_2$ ). Оксид кальцію реагує з порожньою породою (оксидами кремнію, алюмінію і т. п.) і іншими домішками і утворює шлак. Частково видаляються у шлак сірка (у вигляді сполук  $\text{CaS}$ ), оксиди заліза і марганцю.

Регулюючи склад шлаку, можна коригувати склад чавуну.

Кількість шлаку, що утворюється в доменній печі, складає приблизно 40-50% від об'єму чавуну, що виплавляється.

## ***1.9 Продукти доменного виробництва***

Продуктами доменного виробництва є чавун, шлак і доменний (колошниковий) газ.

Основним продуктом доменної плавки є чавун - сплав заліза з вуглецем і іншими хімічними елементами. Він використовується для переробки в сталь (до 90%) і отримання ливарних виробів. Побічним продуктом є шлак наступного складу, % мас: 30-35  $\text{SiO}_2$ , 40-45  $\text{CaO}$ , 10-15  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 1-1,5  $\text{FeO}$ , 2-5  $\text{CaS}$ . Його питома вага 2-3 т/м<sup>3</sup>, в гранульованому вигляді - 0,6-1,0 т/м<sup>3</sup>. Побічним продуктом є і доменний газ, що містить, % мас.: 8-10  $\text{CO}_2$ , 25-35  $\text{CO}$ , 1-3  $\text{H}_2$ , 55-60  $\text{N}_2$ . Температура газів, що виходять з доменної печі, 150-300°C, їх теплотворна здатність 3300-4200 кДж/м<sup>3</sup>. Таким чином, колошниковий газ - висококалорійне паливо і, після очищення, використовується як паливо у повітрянагрівачах, металургійних печах, коксівних батареях.

## **2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВИРОБНИЦТВО СТАЛІ**

Для одержання сталі необхідно видалити з чавуну вуглець. Це досягається шляхом його окислення. Одночасно з вуглецем вилучаються інші домішки, що містяться в чавуні – кремній, марганець, фосфор та інше.

Сталь виплавляється з чавуну в конвертерах, мартенівських і електричних печах. Таким чином, за способом виробництва розрізняють сталь мартенівську, конвертерну і електросталь. Конвертерний спосіб отримання сталі, у свою чергу, підрозділяється на бесемерівський, томасівський і киснево-конвертерний способи виробництва сталі.

Характерною особливістю вказаних способів є отримання сталі в рідкому вигляді. Таку сталь називають литою.

### ***2.1 Бесемерівський і томасівський способи виробництва сталі***

Бесемерівську сталь одержують в конвертері, футеровка якого викладена кислим вогнетривким матеріалом. Дно конвертера має ряд дрібних отворів, через які з повітряної коробки подається повітря під тиском 1,5-2,5 атм.

Кисень повітря із залізом утворює оксид заліза, який розчиняється в рідкому металі і окисляє інші складові чавуну: кремній, марганець і вуглець. При цьому виділяється теплота, якої достатньо не тільки для підтримки чавуну в рідкому стані під час плавки, але і для нагріву металу.

Для переробки фосфоровмісних чавунів футеровка конвертера викладається з основного вогнетривкого матеріалу. Такий спосіб виробництва сталі має назву томасівського, при якому в конвертер разом з рідким чавуном додають обпалене вапно в кількості 12-18% від маси чавуну. Спочатку окислюються кремній і марганець, потім - вуглець і в останню чергу - фосфор. В кінці процесу додають дзеркальний чавун або феромарганець для розкислювання і науглецьовування.

### ***2.2 Киснево-конвертерна плавка***

Для киснево-конвертерної плавки використовуються кисневі конвертери місткістю до 400 т. Вони футеруються доломітовою або магнезитовою цеглою.

Кисневий конвертер має суцільне дно, і кисневе дуття подається зверху за допомогою кисневої фурми, що вводиться в конвертер через горловину.

Спочатку в конвертер завантажують тверду шихту (металевий лом, руду, окалину), потім заливають розплавлений чавун, додають флюси і починають продування киснем.

В результаті окислення домішок чавуну киснем температура досягає 2000°C, тому процес не потребує додаткового палива.

Після закінчення продувки одержана сталь розкислюється і зливається з конвертера через спеціальний отвір, а шлак - через горловину.

Одержана цим способом сталь за якістю не поступається мартенівській. При цьому зберігаються всі переваги конвертерного способу отримання сталі, з'являється можливість використовувати металеві відходи, регулювати процес за рахунок зміни складу твердої шихти.

### ***2.3 Виробництво сталі мартенівським способом***

При мартенівському способі сталь виплавляється в мартенівських печах за рахунок нагріву шихти і плавлення металу спалюванням рідкого або газоподібного палива.

Залежно від складу шихти розрізняють скрап-процес і рудний процес.

При скрап-процесі шихта складається з металевих лому (приблизно 75%) і твердого чавуну у вигляді чушок. Цей процес застосовується там, де є сталевий лом - на машинобудівних заводах. Такий різновид мартенівського процесу має назву - плавка на твердій шихті.

При рудному процесі в піч заливається рідкий чавун і додається 20-25% руди. Окислення домішок чавуну йде за рахунок кисню руди. Оксиди кремнію, марганцю і інших елементів, що утворюються, переходять в шлак, вуглець у вигляді CO, CO<sub>2</sub> в газову фазу. Рудний процес застосовується на великих металургійних заводах з повним циклом, де є рідкий чавун.

Використовують також скрап-рудний процес, при якому шихта складається з руди, рідкого чавуну і металевих лому.

Основною характеристикою мартенівської печі є її місткість - кількість сталі, що виплавляється за одну плавку. Мартенівські печі мають місткість від 50 до 500 т і більше.

Перевага мартенівського способу виробництва сталі в отриманні якісного металу заданого хімічного складу, можливості виплавки сталей будь-якої марки, навіть легованих.

Недоліком способу є неможливість повного видалення сірки і фосфору і наявність в сталі газових включень.

Мартенівську сталь одержують в полуменовій печі, де спалюють газоподібне (суміш генераторного, колошникового або коксівного газів) або рідке (нафта, мазут) паливо. Для підтримки горіння в піч подається підігріте повітря.

Основна частина мартенівської печі - робочий простір, куди завантажуються шихтові матеріали, і де проводиться плавка. Завантаження шихти проводиться через спеціальні вікна.

Регенератори для підігріву повітря і палива мають вигляд камер, викладених зсередини вогнетривкою цеглою та утворюють насадку з вертикальними каналами. Регенератори в нижній частині сполучені каналами, по яких поступають повітря і газ і відводяться продукти горіння. Періодично напрями подачі палива і відведення продуктів горіння змінюються.

У разі застосування газоподібного палива використовуються по два регенератори з кожної сторони: в одному підігрівається повітря, в іншому - паливо. Печі, що опалюються рідким паливом, мають по одному регенератору - для підігріву повітря, а паливо подається в піч форсунками.

З робочого простору мартенівської печі продукти горіння, що мають температуру біля 1600 °С, поступають в регенератори, і нагрівають їх насадки до температури 1000-1200 °С.

Через нагріті регенератори, розташовані по іншу сторону печі, проходять газоподібне паливо і повітря. Останні нагрівають до температури 900-1000 °С і поступають в мартенівську піч.

У піч завантажують шихтові матеріали, подають паливо і повітря. Потрапляючи в піч, гаряче повітря і паливо утворюють факел. Температура в робочому просторі підіймається до 1700-1800 °С.

Мартенівський процес підрозділяється на три періоди: плавлення (тривалість 3-5 годин), кипіння (1-3 годин) і розкислювання. Загальна тривалість плавки сталі в мартенівських печах 5-8 годин.

## **2.4 Виплавка сталі в електропечах**

Для отримання високоякісних сортів сталі застосовуються електричні печі, в яких температура досягає 3000 °С. Це дає можливість краще видаляти шкідливі домішки - сірку і фосфор. Висока температура, можливість регулювати її в широких межах дозволяють виплавляти сталь, що містить тугоплавкі елементи.

Електрична плавка не вимагає подачі в піч повітря, окислювальна здатність печі невисока, кількість оксиду заліза незначна. В електросталі міститься значно менша кількість шлакових включень і розчинених газів.

Електричні печі для виплавки сталі підрозділяються на дугові, індукційні і печі опору.

Дугова електрична піч має сталевий кожух і всередині викладена вогнетривкою цеглою. Зверху через склепіння печі пропущені електроди (вугільні або графітні). Попереду в печі знаходиться оглядове вікно, а ззаду - отвір з жолобом для випуску сталі і шлаку. Завантаження печі ведеться зверху. Для плавки сталі частіше використовують дугові електропечі.

Індукційна електропіч - це тигель з вогнетривкого матеріалу, який оточений мідною трубчастою спіраллю (індуктором), до якої подається електричний струм високої частоти, який нагріває і розплавляє метал. Під дією електричного струму відбувається циркуляція металу, що забезпечує отримання однорідної сталі заданого складу.

Електричні печі опору мають нагрівальні елементи, через які пропускається електричний струм. Тепло, що утворюється при цьому, передається металевій ванні.

Електричні печі бувають з кислою (динас і кварц) і основною (хромомagneзит) футеровками. Найбільш поширені печі з основною футеровкою.

### **Виробництво сталі в дугових електропечах**

Шихтою для отримання сталі в електричних печах є високоякісний металевий лом (до 90%), чавун (до 10%), невелика кількість руди або окалини для окислення домішок. В якості флюсу застосовується вапняк (в основному процесі) або кварцит (в кислому).



Піч завантажується шихтою. Потім на електроди подають електричний струм, який створює дугу. Енергія, що виділяється при цьому, нагріває і розплавляє шихту.

В окислювальний період плавки кисень руди окислює залізо і домішки металевої ванни (окрім сірки) і переводить їх в шлак. Окислений фосфор міцно зв'язується в шлаці вапном. Шлак 2-3 рази за плавку скачується для того, щоб фосфор шлаку не переходив в метал.

У відновлювальний період йде науглецювання металу (якщо кількість вуглецю недостатня), розкислювання сталі і видалення сірки. Для науглецювання в піч після скачування шлаку додають електродний бій, кокс, іноді деревно-вугільний чавун. Розкислювачем є дрібнокускове вапно, мелений феросиліцій і кокс. Сірка ошлаковується вапном.

Остаточне розкислювання проводиться феромарганцем і феросиліцієм.

При виплавці легованих сталей протягом розкислювального періоду плавки вводять легуючі домішки у вигляді феросплавів: ферохром, ферованадій та інші.

Для здешевлення виробництва високоякісних сталей застосовується дуплекс-процес, сутність якого полягає в тому, що плавку сталі починають в конвертері або мартенівській печі, а потім одержану сталь очищають від шкідливих домішок, оксидів, шлакових включень і розчинених газів в електричній печі.

## ***2.5 Розливання сталі***

При всіх способах виробництва рідка сталь випускається в розливний ківш, виконаний з листової сталі і футерований вогнетривкою цеглою. Місткість розливного ковша повинна вміщати всю плавку. В днищі ковша є отвори, які закриваються або вогнетривкими пробками, укріпленими на стрижнях, або шиберними затворами.

З ковша сталь розливають у виливниці - чавунні форми з гладкою внутрішньою поверхнею для полегшення витягання зливка і щоб уникнути утворення на ньому тріщин. Перед заповненням виливниці рідкою сталлю її стінки змащують кам'яновугільною смолою. При заливці металу смола згоряє і утворюються гази, що перешкоджають попаданню шлаку між тілом зливка і стінками виливниці.

Розливання рідкої сталі у виливниці може здійснюватися двома способами: розливанням зверху і сифоном.

Розливання зверху полягає в заливці сталі безпосередньо з ковша у виливниці. Сифонне розливання сталі полягає в тому, що рідкий метал з ковша поступає в центральний вертикальний канал, сполучений горизонтальними каналами з декількома виливницями. Рідкий метал, проходячи по каналам, одночасно заповнює знизу всі виливниці. Цей спосіб розливання застосовується для зливків невеликої ваги.

Зараз широко використовується безперервне розливання сталі. Сталь з ковша через проміжний розливний пристрій потрапляє в кристалізатор, що безперервно охолоджується водою. Перед заливкою металу в кристалізатор вводять металеву плиту, що замінює дно кристалізатора, на якій починає кристалізуватися рідкий метал.

Потім включається механізм витягання, і безперервний зливок витягується роликами з кристалізатора. В зоні охолодження зливок охолоджується дрібними краплями води і далі розрізається на заготовки необхідної довжини.

Переваги безперервного розливання - підвищення якості зливка, зростання продуктивності, можливість механізації і автоматизації процесу.

## **2.6 Класифікація сталей**

За хімічним складом сталь підрозділяється на вуглецеву і леговану.

Вуглецева сталь - сплав заліза з вуглецем (вміст вуглецю до 2%). Окрім заліза і вуглецю, до складу вуглецевої сталі входять також кремній, марганець, сірка і фосфор.

Вуглець в сталі знаходиться у вигляді цементиту. Із збільшенням вмісту вуглецю до 1,2% збільшуються твердість, міцність і пружність сталі, при цьому зменшуються пластичність і ударна в'язкість, погіршуються оброблювальні і зварювальні якості.

Кремній в невеликих кількостях (звичайний вміст його в сталі 0,05-0,35%) не дуже впливає на властивості сталі. При підвищенні вмісту кремнію підвищуються пружність, корозійна стійкість і жаростійкість сталі.

У звичайній сталі вміст марганцю складає 0,3-0,8%, що мало впливає на її властивості. При високому вмісті марганцю сталь набуває твердості та зносостійкості.

Сірка - шкідлива домішка, що додає сталі червоноламкість і знижує корозійну стійкість. Вміст сірки в сталі не повинен перевищувати 0,06%.

Фосфор (не більше 0,07%) додає сталі підвищену крихкість в холодному стані. Він трохи покращує оброблюваність сталі.

Кисень - шкідлива домішка, що утворює закис заліза, який додає сталі крихкість.

За використанням сталі діляться на сталі загального призначення, що йдуть на виготовлення деталей машин, і інструментальні, призначені для виготовлення інструментів.

Конструкційні сталі містять до 0,7% вуглецю. Ці сталі повинні мати достатню міцність і пластичність. Конструкційні сталі, в свою чергу, діляться на сталі звичайної якості і якісні.

Вуглецеві інструментальні сталі містять більше 0,7 % вуглецю. Порівняно великий вміст вуглецю додає цим сталям високу твердість і міцність.

Залежно від вмісту вуглецю сталі підрозділяються на три групи: низьковуглецеві (до 0,25% вуглецю), середньовуглецеві (0,25-0,6%) і високовуглецеві (0,6-2%).

Легованими називають сталі, до складу яких, окрім заліза, вуглецю і звичайних домішок, входять легуючі елементи, що підвищують їх фізичні, хімічні і механічні властивості.

### **3 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВИРОБНИЦТВО ФЕРОСПЛАВІВ**

#### ***3.1 Використання і способи отримання феросплавів***

Феросплави - це сплави заліза з легуючими елементами (V, W, Ti, Zr, Nb, Cr і ін.) або елементами-розкислювачами (Mn, Si і ін.). Їх використовують при виробництві сталі в якості розкислювачів і легуючих добавок для отримання необхідних властивостей металу і підвищення його якості.

В якості сировини для виробництва феросплавів використовують руди або концентрати, в яких необхідний метал міститься у вигляді оксидів. Процес

отримання феросплавів полягає у відновленні оксидів різними відновниками - елементами, що мають більшу хімічну спорідненість до кисню, ніж відновлюваний метал. Процес відновлення полегшується, якщо відновлюваний метал утворює розчин із залізом, тобто феросплав, тому в шихту разом з рудою або концентратом і відновником додають залізу (сталеву) стружку або оксиди заліза (залізняк або концентрати).

При відновленні легуючого елемента відбувається окислення відновника, тобто при виробництві феросплавів здійснюються окислювально-відновні реакції, які можна навести наступними стехіометричними рівняннями:

1.  $\text{Me} + \frac{1}{2} \text{O}_2 = \text{MeO} \quad \Delta G_1^0;$
2.  $\text{B} + \frac{1}{2} \text{O}_2 = \text{BO} \quad \Delta G_2^0;$
3.  $\text{MeO} + \text{B} = \text{BO} + \text{Me} \quad \Delta G_3^0 = \Delta G_2^0 - \Delta G_1^0,$

де Me - легуючий елемент; B - елемент-відновник.

Оскільки доволіно процес може протікати тільки у бік зменшення потенціалу Гіббса ( $\Delta G_3^0 < 0$ ), то реакція відновлення легуючого елемента реалізується у випадку, якщо  $\Delta G_1^0 > \Delta G_2^0$ . Вуглець, спорідненість до кисню у якого з підвищення температури зростає (на відміну від інших елементів), може відновлювати будь-який елемент в залежності від рівня температури.

В якості відновника можна використовувати вуглець, кремній і алюміній, що визначає назву процесів (вуглецевовідновний, силікотермічний і алюмотермічний). Для відновлення вуглецем потрібні витрати тепла, тому вуглецевовідновний процес проводять в електричних феросплавних печах. При надмірному вмісті вуглецю в шихті одержують феросплави зі значною концентрацією вуглецю. Ці феросплави називають високовуглецевими.

Силіко- і алюмотермічний способи застосовують для отримання низьковуглецевих феросплавів: феромарганцю, ферохрому, феровольфраму, ферованадію, феромолібдену, феробору і ін. Ці процеси, як правило, не вимагають витрат тепла, оскільки тепло при реакціях відновлення, що виділяється, достатнє для здійснення процесу. В цих випадках плавку ведуть так званим позапічним способом, в спеціальних шахтах з вогнетривкої цегли. В шахту насипають подрібнену шихту з відновником, наприклад, з порошком алюмінію, і запалюють за допомогою спеціальної суміші (селітри з магнієвою стружкою). Тепло, що виділяється при згоранні запальної суміші, достатньо для

початку процесу відновлення, що розповсюджується на весь об'єм шихти. В результаті отримується рідкий метал і шлак.

### **3.2 Будова феросплавної печі**

Феросплави отримують у спеціальних електричних печах - феросплавних або рудовідновних (руднотермічних) печах. За призначенням феросплавні печі можуть бути відновними або рафінувальними, по конструкції - відкритими або закритими. Ванни печей можуть бути стаціонарними або обертаючими; форма ванн може бути круглою, прямокутною або овальною.

Нагрів і плавлення шихти у феросплавній печі відбуваються під дією тепла електричних дуг, що виникають між вугільними електродами і металевою ванною. Металевий кожух печі в горизонтальному перетині зазвичай круглий (три електроди, що розташовані трикутником) і іноді - прямокутний (електроди, що розташовані в ряд). Електроди (так звані самоспікаючі) складаються з металевого кожуха великого діаметра (900-1500 мм), що заповнюється електродною масою. Маса складається з термоантрациту, коксу, кам'яновугільної смоли і пеку. По мірі опускання електродна маса нагрівається, розм'якшується і щільно заповнює кожух. В зоні високих температур відбувається спікання маси в щільний вугільний електрод. По мірі витрачання електрод поступово опускається, а верхню його частину нарощують (зваркою) черговою секцією без виключення струму. Самоспікаючі електроди значно дешевше вугільних.

Феросплавні печі є безперервно діючими агрегатами. З бункерів періодично зверху завантажують шихтові матеріали. З розвитком процесу рідкий метал накопичується на поді і періодично випускається з печі.

### **3.3 Виробництво феросиліцію**

У електричних печах виплавляють переважно феросиліцій марок ФС45 і ФС75. Феросиліцій ФС45 містить 40-47 % Si, <0,8 % Mn, 0,05 % P, 0,03 % S, решта заліза. Феросиліцій ФС75 містить 74-80 % Si, < 0,7 % Mn, 0,04 % P, 0,03 % S. Феросиліцій застосовують для розкислювання і легування сталі, а також в якості відновника при виробництві інших феросплавів і кольорових металів, що одержують металотермічним (силікотермічним) способом.

Сировиною для виплавки феросиліцію є кварцити (крупністю 25-80 мм), що містять  $> 95 \% \text{SiO}_2$  і  $< 0,02 \% \text{P}_2\text{O}_5$ . В якості відновника використовують металургійний коксик (крупністю 10-25 мм). Для поліпшення умов відновлення і отримання сплаву з потрібною концентрацією кремнію в шихту вводять подрібнену стружку вуглецевих сталей.

В процесі плавки відбувається нагрів і плавлення шихти; при цьому кремнезем відновлюється твердим вуглецем за реакцією  $\text{SiO}_2 + 2\text{C} = \text{Si} + 2\text{CO}$ . Відновлений кремній розчиняється в рідкому залізі, утворюючи розплав з необхідною концентрацією кремнію. Окрім сплаву, утворюється невелика кількість шлаку (2-5 % від маси сплаву). Плавка ведеться безперервно, сплав випускають (12-15 разів на добу) в ківш і розливають в плоскі чавунні виливниці або в зливки на розливній машині.

### **3.4 Виробництво високовуглецевого феромарганцю**

У електричних печах виплавляють феромарганець марок ФМн75 і ФМн78 з вмістом марганцю відповідно  $> 75$  і  $78 \%$ . Вміст вуглецю повинен бути  $< 7\%$ , кремнію  $1,0-2,0 \%$ . Обмежується також вміст фосфору (для ФМн75  $< 0,45 \% \text{P}$ , для ФМн78  $< 0,35 \% \text{P}$ ). Сировиною для виплавки феромарганцю є марганцеві руди або концентрати. В якості відновника використовують коксик. В шихту також додають сталеву стружку і вапно (для ошлаковування кремнезему, що міститься в руді). Основними реакціями, що сприяють утворенню розплаву високовуглецевого феромарганцю, є:

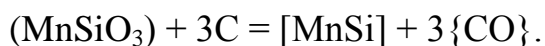


Ці реакції протікають одночасно. Внаслідок утворення карбіду марганцю сплав містить значну кількість вуглецю. Разом з металом в процесі плавки утворюється значна кількість шлаку. Співвідношення маси шлаку і металу (кратність шлаку) складає  $1,0-1,2$ .

Плавку ведуть безперервно, і по мірі накопичення сплаву і шлаку їх випускають через кожні півтори години. Перехід марганцю в сплав досягає  $60 \%$ , в шлак  $30 \%$  і  $10 \%$  в газову фазу. Шлак використовують для виплавки силікомарганцю і низькофосфористих марганцевих сплавів.

### **3.5 Технологія виробництва силікомарганцю**

Силікомарганець в якості напівпродукту використовується при виробництві металевого марганцю і рафінованого феромарганцю, а також в якості комплексного розкислювача. Вміст кремнію в силікомарганці складає 10-26 %. Силікомарганець одержують одночасно відновленням кремнію і марганцю з шихти, до складу якої входить марганцева руда, малофосфористий марганцевий шлак, доломіт, кварцит і кокс. У відновних умовах у феросплавній печі в якості проміжного продукту утворюється силікат марганцю, що відновлюється при температурі  $>1300^{\circ}\text{C}$  за схемою



Відновлення марганцю і кремнію помітно полегшується у присутності заліза. Силікомарганець отримують безперервним процесом в печах із закритим колошником. Випуск сплаву і шлаку проводять через кожні 1,5-2,0 години.

## **4 ТЕМИ НАВЧАЛЬНОЇ ПРОГРАМИ**

### ***ТЕМА 1 Вихідні матеріали для виробництва чавуну і їх підготовка до плавки***

Шихтові матеріали, що використовуються при виробництві чавуну. Характеристика залізняка і концентратів. Види і вимоги до металургійного палива, отримання коксу, інші види доменного палива. Флюси і вогнетривкі матеріали: види, призначення. Підготовка руди до плавки: дроблення і подрібнення, сортування за крупністю, збагачення руд, випалення, усереднення за хімічним складом, окускування.

Література: [1, С. 9-57; 2, С. 14-42; 3, С. 28-142; 4, С. 18-151].

#### **Питання для самоперевірки**

1. Вихідні матеріали для виробництва чавуну. Що таке промислова руда?
2. Наведіть загальну характеристику руди.
3. Основні стадії підготовки руди до плавки, дайте коротку їх характеристику.
4. Яке обладнання застосовують для дроблення і подрібнення, принцип дії?

5. Як проводять розділення кусків і часток руди за крупністю? Принцип роботи грохотів і класифікаторів.
6. Наведіть основні способи збагачення корисних копалин, їх характеристики.
7. Як усереднюють руди за хіміко-мінеральним складом?
8. Для чого застосовують метод підготовки руди до плавки окускування? Перерахуйте основні способи окускування.
9. Що таке агломерація? Перерахуйте основні складові агломераційної шихти.
10. Опишіть сутність агломерації, процеси, що її супроводжують.
11. Розгляньте складові і принцип роботи агломераційної машини.
12. Опишіть технологію отримання обкотишів.
13. Назвіть основні функції флюсів, наведіть основні металургійні флюси.
14. Наведіть схему, пристрій і роботу коксівної батареї.
15. Опишіть процеси, що відбуваються при коксуванні.

## ***ТЕМА 2 Виробництво чавуну***

Склад доменного цеху. Пристрої для завантаження шихтових матеріалів в доменну піч, подачі і нагріву дуття, очищення доменного газу, обслуговування горна і прибирання продуктів плавки. Конструкція доменної печі, принцип роботи, допоміжні пристрої. Фізико-хімічні процеси в доменній печі: відновлення оксидів заліза, марганцю, кремнію, фосфору і сірки, інших елементів, утворення чавуну і шлаку, процеси горіння палива і утворення доменного газу. Продукти доменного виробництва: склад, призначення. Методи інтенсифікації доменної плавки.

Література: [1, С. 58-127; 2, С. 42-91; 3, С. 143-270, 301-410; 4, С. 152-281, 337-497].

### **Питання для самоперевірки**

1. Основні частини профілю доменної печі, їх характеристика.
2. Розгляньте будову доменної печі.
3. Розгляньте пристрої для підведення дуття в піч і випуску з неї продуктів плавки.
4. Перерахуйте основні складові доменного цеху.



5. Призначення рудного двору, з яких ділянок він складається, основне устаткування двору.
6. Як здійснюється зважування і доставка шихтових матеріалів на колошник доменної печі?
7. Розгляньте схему і принцип роботи повітронагрівачів.
8. Перерахуйте, з яких стадій складається газоочищення, і розгляньте пристрої газоочистки.
9. Перерахуйте обладнання для обслуговування горна і прибирання продуктів плавки (чавуну і шлаку).
10. У якій послідовності йде відновлення оксидів заліза? Наведіть реакції відновлення оксидів заліза.
11. Сутність прямого і непрямого відновлення? Розгляньте температурні зони доменної печі, де реалізуються різні схеми відновлення оксидів заліза.
12. Наведіть схему і реакції відновлення оксидів марганцю. Вплив умов на ступінь відновлення марганцю.
13. Наведіть реакцію відновлення кремнію. Виявіть вплив температури і кількості шлаку на відновлення кремнію.
14. Наведіть реакцію відновлення фосфору. Поведінка фосфору в умовах доменної плавки?
15. Наведіть реакції десульфурації. Виявіть вплив температури, основності і кількості шлаку на вміст сірки в чавуні.
16. Розгляньте сутність способів позадоменної десульфурації чавуну.
17. Наведіть класифікацію доменних чавунів, їх склад та призначення.
18. Основні шляхи використання доменних шлаків і газів.
19. Методи інтенсифікації доменної плавки.

### ***ТЕМА 3 Виробництво сталі***

Технологічні особливості сталеплавильного виробництва: агрегати, шихта, загальна схема сталеплавильного процесу. Продукція сталеплавильного виробництва. Фізико-хімічні основи процесів виробництва сталі: окислення вуглецю, поведінка кремнію, марганцю і інших елементів. Шкідливі домішки в сталі: фосфор, сірка, гази в сталі. Розкислювання і легування сталі. Конвертерні

способи виробництва сталі. Конструкція і футеровка кисневих конвертерів. Технологія плавки в кисневих конвертерах. Схема і робота мартенівської печі. Технологія мартенівського виробництва. Різновиди мартенівського процесу. Виплавка сталі в двованних сталеплавильних агрегатах. Виробництво сталі в електричних печах. Класифікація електричних печей. Виплавка сталі в електродуговій печі. Виплавка сталі в індукційних печах.

Література: [1, С. 147-343; 2, С. 98-195; 5, С. 27-339; 6, С. 15-41, 70-102, 121-428; 7, С. 8-150].

### **Питання для самоперевірки**

1. Шихтові матеріали для виробництва сталі.
2. Наведіть загальну схему сталеплавильного процесу.
3. Основні фізико-хімічні закономірності процесів, що протікають в сталеплавильній ванні.
4. Розгляньте властивості шлаків, їх роль і функції в процесі виплавки сталі.
5. Перерахуйте сучасні сталеплавильні процеси і дайте їх характеристику.
6. Наведіть реакції окислення вуглецю, залежність вмісту кисню від вуглецю.
7. Наведіть умови виділення пузирів CO.
8. Розгляньте вплив реакції окислення вуглецю на сталеплавильний процес.
9. Наведіть реакції окислення марганцю і кремнію. Виявіть вплив основності, окисленості шлаку і температури на поведінку цих елементів в сталеплавильній ванні.
10. Як впливає фосфор на властивості сталі? Що є основним джерелом надходження фосфору в метал?
11. Наведіть реакції окислення фосфору. Виявіть вплив основності, окисленості шлаку і температури на поведінку фосфору.
12. Як впливає сірка на властивості сталі? Що є основним джерелом надходження сірки в метал?
13. Наведіть реакції видалення сірки. Виявіть вплив основності, окисленості шлаку і температури на поведінку сірки.
14. Розгляньте джерела забруднення сталі газами і шляхи дегазації металу.
15. Як впливають гази на властивості сталі? Розгляньте вплив температури на розчинність газів в залізі.
16. Як впливає кисень на властивості сталі? Якою технологічною операцією закінчується виплавка сталі в будь-якому агрегаті?

17. Наведіть існуючі способи розкислювання сталі, переваги і недоліки.
18. Розгляньте рівняння Стокса, виявіть чинники, що впливають на швидкість видалення продуктів розкислювання.
19. Вкажіть шляхи зниження забруднення сталі неметалічними включеннями при розкислюванні.
20. Перерахуйте конвертерні способи виробництва сталі і дайте їх характеристику.
21. Розгляньте будову і футеровку кисневого конвертера.
22. Сутність технології плавки сталі в кисневих конвертерах.
23. Розгляньте будову і роботу мартенівської печі.
24. Перерахуйте різновиди мартенівського процесу.
25. Сутність технології мартенівського виробництва сталі.
26. Розгляньте особливості основного і кислого мартенівських процесів.
27. Наведіть варіанти технології процесу виробництва сталі в електричних печах.
28. Розгляньте будову дугової сталеплавильної печі.
29. Технологія плавки сталі в основній і кислій дуговій електропечі.
30. Розгляньте будову індукційної печі, технологію плавки, переваги, недоліки.

#### ***ТЕМА 4 Способи підвищення якості і розливання сталі***

Способи підвищення якості рідкої сталі. Продувка сталі інертним газом. Обробка металу синтетичним шлаком. Обробка металу в умовах розрідження. Продування газо-порошковими струменями. Розливання сталі. Випуск сталі в ківш. Розливання сталі в виливниці. Безперервне розливання заготовок.

Література: [1, С. 347-413; 2, С. 196-228; 5, С. 365-499; 7, С. 155-377; 8, С. 122-198].

#### **Питання для самоперевірки**

1. Перерахуйте основні способи підвищення якості сталі і дайте їх коротку характеристику.
2. Для чого застосовується продування сталі інертним газом, обробка металу синтетичним шлаком?

3. Як впливає розрідження на протікання реакцій за участю газової фази?
4. Наведіть способи обробки сталі в умовах розрідження (вакуумування).
5. Розгляньте існуючі способи розливання сталі в виливниці. Порівняйте ці способи.
6. Розгляньте технологію безперервного лиття заготовок.
7. Конструкції машин безперервного лиття заготовок (МБЛЗ).

### ***ТЕМА 5 Виробництво феросплавів***

Класифікація і призначення феросплавів. Види феросплавних процесів. Шлаки феросплавного виробництва. Електротермія феросиліцію: сортамент і властивості феросиліцію, теоретичні основи і технологічні особливості отримання феросиліцію. Марганець: області використання марганцю, характеристика марганцевих руд і концентратів, технологія високовуглецевого і низьковуглецевого феромарганцю, електротермія силікомарганцю, дефосфорація марганцевих концентратів. Хром: фізико-хімічні властивості хрому, руди хрому, технологія високовуглецевого і низьковуглецевого ферохрому. Феротитан: руди титану, особливості відновлення титану, підготовка шихтових матеріалів до плавки, ведення плавки.

Література: [1, С. 420-437; 9, С. 14-52, 77-95, 106-206, 232-246; 10, С. 19-66, 118-154, 179-280, 303-359, 445-473; 11, С. 7-90, 129-254, 269-282].

#### **Питання для самоперевірки**

1. Наведіть загальну класифікацію та призначення феросплавів.
2. Наведіть класифікацію способів отримання феросплавів за видом агрегату, що використовується.
3. Наведіть класифікацію способів отримання феросплавів за видом відновника.
4. Якими властивостями повинен володіти елемент, щоб бути відновником іншого елемента?
5. Наведіть фізико-хімічну сутність металургійного відновлення: умови плинності реакції у бік відновлення, види металотермічного відновлення.
6. Розгляньте роль шлаку при виплавці феросплавів.
7. Розгляньте будову рудовідновної печі, в якій виплавляють феросплави.

8. Розгляньте особливості відновлення кремнезему вуглецем при отриманні феросиліцію.
9. Наведіть шихтові матеріали для виробництва феросиліцію.
10. Сутність технології плавки феросиліцію в рудовідновній печі.
11. Перерахуйте основні області застосування марганцю.
12. Наведіть загальну характеристику марганцевої руди.
13. Основні стадії підготовки марганцевої руди до плавки, дайте коротку їх характеристику.
14. Сутність технології плавки високовуглецевого феромарганцю флюсовим способом.
15. Розкрийте сутність технології плавки високовуглецевого феромарганцю безфлюсовим способом.
16. Висловіть сутність технології плавки низькофосфористого високовуглецевого феромарганцю.
17. Наведіть сутність технології плавки низьковуглецевого феромарганцю.
18. Розгляньте електричні печі та шихтові матеріали для виробництва силікомарганцю.
19. Розкрийте сутність технології плавки силікомарганцю.
20. Наведіть загальну характеристику хромової руди.
21. Розгляньте сутність технології плавки високовуглецевого ферохрому.
22. Наведіть сутність технології плавки низьковуглецевого ферохрому.
23. Наведіть загальну характеристику титанової руди.
24. Розгляньте особливості відновлення титану різними відновниками.
25. Висловіть сутність технології плавки феротитану.

### **5 ПИТАННЯ ДО ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАВДАННЯ**

Індивідуальне завдання студента складається з шести теоретичних питань. Нумери питань індивідуального завдання розраховуються студентом за номером залікової книжки:

Номер першого питання дорівнює останній цифрі залікової книжки студента (якщо остання цифра залікової книжки 0, тоді перше питання – 1.10).

Номер другого питання дорівнює передостанній цифрі номера залікової книжки (якщо остання цифра «0», потрібно брати десяте питання).

Номер третього питання дорівнює останній цифрі номера залікової книжки (якщо передостання цифра «0», потрібно брати десяте питання).

Номер четвертого питання дорівнює передостанній цифрі номера залікової книжки (якщо остання цифра «0», потрібно брати десяте питання).

Номер п'ятого питання дорівнює останній цифрі номера залікової книжки (якщо передостання цифра «0», потрібно брати десяте питання).

Номер шостого питання дорівнює передостанній цифрі номера залікової книжки (якщо передостання цифра «0», потрібно брати десяте питання).

### **Завдання для першого питання**

- 1.1 Дати характеристики основним видам промислових залізних руд.
- 1.2 Класифікація і характеристика основних видів палива доменного процесу, основні вимоги до нього.
- 1.3 Загальна характеристика процесів підготовки вихідних матеріалів до доменної плавки.
- 1.4 Описати процес дроблення залізних руд і дати характеристику основним типам дробильного устаткування.
- 1.5 Описати процес сортування залізняку за крупністю і дати характеристику основним типам сортувального устаткування.
- 1.6 Які флюси застосовують в доменному виробництві? Їх призначення.
- 1.7 Мета збагачення руд. Описати процес збагачення залізних руд і устаткування для його здійснення.
- 1.8 Описати процеси окискування дрібних руд і концентратів. Мета окискування залізородних матеріалів.
- 1.9 Охарактеризувати процес агломерації руд. Устаткування агломераційного процесу.
- 1.10 Описати процес виробництва обкотишів, їх використання для виробництва металу.

### **Завдання для другого питання**

- 2.1 Описати рудний двір доменного цеху. Призначення та устаткування рудного двору.
- 2.2 Основні елементи конструкції доменних печей. Принцип роботи доменної печі.
- 2.3 Принцип роботи повітронагрівачів доменної печі. Мета нагрівання повітря перед подачею в доменну піч.

- 2.4 Подача матеріалів в доменну піч. Скіпова і транспортерна системи подачі.
- 2.5 Елементи профілю робочого простору доменної печі, трансформація матеріалів шихти при переміщенні їх в робочому просторі.
- 2.6 Розкрити принцип роботи і призначення засипного (колошникового) пристрою доменної печі.
- 2.7 Фізико-хімічні процеси, що протікають в доменній печі.
- 2.8 Відновлення оксидів заліза газами і твердим вуглецем. Порівняння прямого і непрямого відновлення.
- 2.9 Поведінка сірки в доменному процесі. Способи зниження її в чавуні.
- 2.10 Очищення доменного (колошникового) газу і подальше його вживання.

### **Завдання для третього питання**

- 3.1 Вихідні матеріали сучасної конвертерної плавки і основні вимоги до них.
- 3.2 Конструкція кисневого конвертера з верхнім дуттям. Основні елементи робочого простору конвертера.
- 3.3 Технологія ведення киснево-конвертерної плавки, джерела теплоти процесу (підтвердити рівняннями основних реакцій).
- 3.4 Поведінка складових чавуну по ходу киснево-конвертерної плавки.
- 3.5 Конвертерні процеси з донною продувкою киснем. Порівняння процесів з верхньою і донною продувкою киснем.
- 3.6 Конвертерні процеси з комбінованою продувкою.
- 3.7 Характеристика різновидів ведення мартенівської плавки залежно від співвідношення компонентів в шихті: скрап-процес; скрап-рудний, рудний і т.п.
- 3.8 Дати характеристику технологічним періодам мартенівської плавки сталі скрап- і скрап-рудного процесів.
- 3.9 Особливості виплавки сталі в кислій мартенівській печі. Вимоги до сирих матеріалів і палива при кислому процесі.
- 3.10 Вдосконалення мартенівського процесу. Двованні сталеплавильні мартенівські печі, глибинна продувка киснем.

### **Завдання для четвертого питання**

- 4.1 Класифікація електричних печей.
- 4.2 Конструкція сталеплавильної електродугової печі. Загальні відомості.
- 4.3 Вихідні матеріали і технологія плавки в електродуговій печі.

- 4.4 Охарактеризувати спосіб виплавки сталі в електропечах з повним окисненням домішок.
- 4.5 Охарактеризувати спосіб виплавки сталі в електропечах методом переплаву.
- 4.6 Дати характеристику способу виплавки електросталі в дугових печах з кислою футеровкою.
- 4.7 Охарактеризувати сучасні способи виплавки сталі в електропечах.
- 4.8 Виплавка сталей в індукційних печах. Технологічні особливості методу.
- 4.9 Виплавка сталей і сплавів у вакуумних електричних печах. Технологічні особливості процесу.
- 4.10 Електрошлаковий переплав. Конструкція та технологічні особливості методу.

#### **Завдання для п'ятого питання**

- 5.1 Види розкислювання сталі, технологічні особливості різних способів розкислювання.
- 5.2 Охарактеризуйте спосіб осаджуючого розкислювання сталі і методи видалення продуктів розкислювання.
- 5.3 Розкислювання і рафінування сталі вакуумним методом. Сутність процесів, що протікають при вакуумуванні сталі.
- 5.4 Обробка сталі синтетичними шлаками: розкислювання і рафінування.
- 5.5 Мета і способи обробки сталі інертними газами в сталерозливному ковші.
- 5.6 Що таке легування? Основні класи легованих сталей.
- 5.7 Способи розливання сталі в зливки. Типи виливниць для різних способів розливання сталі.
- 5.8 Типи сталевих зливків, їх характеристика та будова.
- 5.9 Особливості кристалічної будови зливків спокійної, киплячої сталі. Особливості конструкції виливниць для зливків спокійної і киплячої сталей.
- 5.10 Типи установок безперервного розливання сталі. Технологія безперервної розливки сталі.



### **Завдання для шостого питання**

- 6.1 Феросплави – види та призначення. Область використання.
- 6.2 Типи феросплавних печей та їх будова в залежності від продукту, що утворюється.
- 6.3 Технологічні основи виробництва феросиліцію.
- 6.4 Технологічні основи виробництва високовуглецевого феромарганцю.
- 6.5 Технологічні основи виробництва високовуглецевого ферохрому.
- 6.6 Технологічні особливості виробництва низьковуглецевого феромарганцю та ферохрому.
- 6.7 Технологія виробництва силікомарганцю.
- 6.8 Порівняти технологічні схеми виробництва високовуглецевого та низьковуглецевого феромарганцю.
- 6.9 Технологічні особливості виробництва феротитану.
- 6.10 Технологічні особливості виробництва низькофосфористого феромарганцю.