

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Запорізька політехніка»

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни "Методи отримання металів та сплавів"
для студентів спеціальності G8 "Матеріалознавство"
за освітньою програмою "Композиційні та порошкові
матеріали, покриття" денної форми навчання

Конспект лекцій з дисципліни "Методи отримання металів та сплавів" для студентів спеціальності G8 "Матеріалознавство" за освітньою програмою "Композиційні та порошкові матеріали, покриття" денної форми навчання / Укл.: О.А. Міт'яєв, І.М. Сохрякова. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2025. – 70 с.

Укладачі: Олександр МІТ'ЯЄВ, д.т.н., проф.
Ірина СОХРЯКОВА, магістр., зав.лаб.

Рецензент: Іван АКІМОВ, доцент, к.т.н.

Відповідальний
за випуск: І.М. Сохрякова, магістр., зав. лаб.

Затверджено
на засіданні
НМК ФБАД
Протокол № 1
від "11" вересня 2025 р.

Затверджено
на засіданні кафедри
"Композиційні матеріали, хімія
та технології"
Протокол № 2
від "25" серпня 2025 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Тема 1. Поняття руда, метал і сплав. Класифікація способів добування металів. Металургія минулих часів	5
Тема 2. Структура металургійного виробництва	9
Тема 3. Вихідні матеріали доменного виробництва. Відновлювальні процеси в доменній печі	15
Тема 4. Сталь, її різновиди та способи виробництва	22
Тема 5. Способи підвищення якості металів і сплавів. Пряме отримання заліза (сталі)	35
Тема 6. Мідь та її сплави	43
Тема 7. Алюміній та його сплави	50
Тема 8. Виробництво титану та його сплавів	56
Тема 9. Сплави кольорових металів	64
Рекомендована література	70

ВСТУП

Конспект лекцій з дисципліни "Методи отримання металів та сплавів" для студентів спеціальності G8 «Матеріалознавство» за освітньою програмою «Композиційні та порошкові матеріали, покриття» спрямовані на підготовку фахівців, що здатні ефективно виконувати професійну діяльність, та набуття ними компетентностей, що дозволяють розв'язувати складні спеціалізовані та практичні задачі.

Матеріали, що наведено у конспекті лекцій, не є науковою працею, а являють собою відомі факти з відкритих джерел, що викладено укладачами у певній послідовності з метою формування у здобувачів вищої освіти уявлень, знань та практичних навичок, що стосуються питань отримання; прогнозування властивостей та хімічного складу металів та сплавів.

При складанні конспекту лекцій авторський колектив використовував технічну інформацію, що викладено у джерелах [1–9].

ТЕМА 1. ПОНЯТТЯ РУДА, МЕТАЛ І СПЛАВ. КЛАСИФІКАЦІЯ СПОСОБІВ ДОБУВАННЯ МЕТАЛІВ. МЕТАЛУРГІЯ МИНУЛИХ ЧАСІВ

Металургією називають науку про промислові способи отримання металів і сплавів.

Металургією називають також промисловість, яка займається виробництвом металів і сплавів з руд та іншої сировини, яка містить метали.

Історія матеріальної культури людства нерозривно пов'язана з використанням металів.

Ще задовго до н.е. людство нарівні з камінням використовувало метали: мідь, золото, срібло. Ці метали в земній корі знаходяться у вільному стані. З часом (IV–V ст. до н.е.) навчилися отримувати з руд мідь, олово, свинець. Цей період назвали **мідним віком**. Ближче до нової ери почали варити сплави. Першим із них була бронза (сплав міді з оловом), тому вік назвали **бронзовим**. Цей сплав був значно твердішим і міцнішим за відомі на той час метали. Інструменти, виготовлені з бронзи, були довговічнішими, ніж мідні.

Залізо використовували давно. Спочатку, ймовірно, метеоритне, а потім (кінець II тис. до н.е.) навчились отримувати з руд. На зміну бронзовому віку прийшов **залізний**. Ця назва віку зберігається й понині, оскільки основними конструкційними матеріалами і сьогодні є сплави на основі заліза.

Отже, ми живемо у вік заліза, космосу, комп'ютерів. З усіх металів і сплавів на їх основі на сьогодні найчастіше використовують сталі. Виробництво сталей у 20 разів перевищує загальну кількість отриманих усіх інших металів і сплавів.

Використовують також кольорові метали та сплави на їх основі. Для легування сталей необхідні Cr, Ni, Ti, V тощо.

Сплави алюмінію (Al), титану (Ti), берилію (Be) тощо є основою літако– та ракетобудування, тому їх називають «крилатими» металами.

Мідь – основний матеріал для електро– та радіотехніки. Сплави на основі міді використовують у машинобудуванні. Знаходять застосування й трудноплавкі метали– Mo, Ta, W, Nb і сплави на їх

основі. Використовують також легкоплавкі метали Na, K, Li, Pb, Bi, Ga тощо.

Всі метали отримують з рудної сировини. **Сировиною називають речовини, з яких виробляють продукцію.**

Рудна сировина – це залізні, мідні, хромові, марганцеві, молибденові, нікелеві та інші руди.

Промислові руди містять один або кілька металів. Вміст металів у цих рудах різний, але економічно вигідний для вилучення з них металів на даному етапі розвитку технології. У рудах метали перебувають у вигляді оксидів (наприклад, залізна руда містить залізо у вигляді оксидів (Fe_2O_3 , Fe_3O_4), сульфідів (наприклад, мідна руда містить мідь у вигляді халькопіриту (CuFeS_2)). Дуже рідко у природі зустрічаються руди, в яких метали перебувають у вільному стані, – золотоносні і платинові руди.

Корисними копалинами називають речовини, які знаходяться у надрах Землі чи на її поверхні та використовуються людьми для задоволення своїх потреб. Ці речовини використовують без або після перероблення.

Поряд із корисними копалинами в земній корі залягають породи. **Породою** називають речовину, яка не містить основного компонента корисної копалини.

Наприклад, у залізних рудах основним компонентом є залізо, яке міститься у руді у вигляді оксидів та інших сполук заліза. Порода в залізних рудах складається, в основному, з піску та глини.

Підземні комори України багаті на корисні копалини. У них є майже все або більшість із того, що потрібно для розвитку промисловості та інших галузей.

Є у підземних коморах України руди, золото, вугілля, горючі сланці, торф, нафта, газ, озокерит, прісні та мінеральні води, коштовне каміння, графіт, сірка, солі, гіпс, каолін, апатити, – глини, вапняки, пісок, каміння, пірофілітові сланці (єдине у Світі родовище на Житомирщині). З пірофілітових сланців виробляють сигнальні світильники для морських маяків. Маємо інші мінерали.

Залежно від характеру робіт і виду корисної копалини, яку добувають з родовища, останнє має певну назву, яка склалася історично. Наприклад, залізні, мідні та інші руди, кам'яне вугілля, золото, солі добувають у копальнях, вапняк, пісок, глину – в кар'єрах, камінь, граніт – у каменоломнях.

У родовищах корисні копалини залягають у вигляді пластів, жил, гнізд тощо. Пласти та жили можуть бути горизонтальними, пологими та похилими (рис. 1.1).

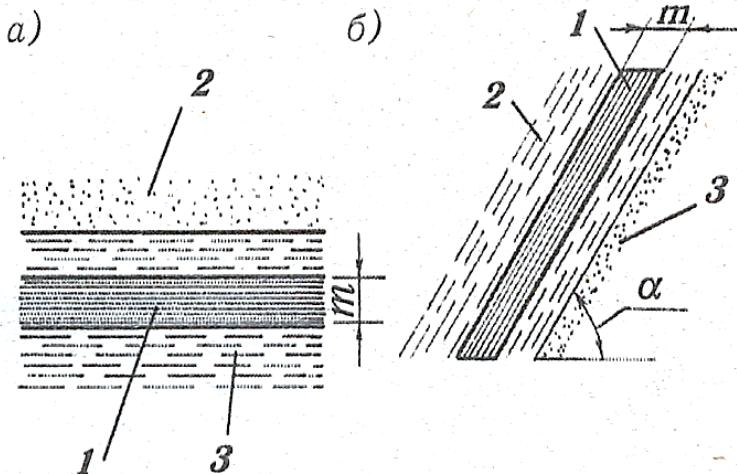


Рисунок 1.1 – Схема пластів: а – горизонтальний; б – похилий.

Горизонтальні пласти обмежені двома паралельними площинами: верхню називають покрівлею (2), нижню – основою (3). Для інших пластів покрівлею буде висячий бік (2), а основою – лежачий (3).

Кутом падіння (α) називають кут, який утворює пласт із горизонтальною площиною. Похилий пласт має найбільший кут падіння (45–90°).

Потужністю пласта називають його товщину (m). За потужністю пласти поділяють на:

- дуже тонкі (до 0,5 м),
- тонкі (0,5–1,3 м),
- середні (1,3–3,5 м);
- потужні (понад 3,5 м).

Корисні копалини залягають у надрах Землі на різній глибині. Найлегше відшукати ті корисні копалини, родовища яких виходять на поверхню Землі або прикриті тонким шаром ґрунту чи породи. Якщо родовища корисних копалин знаходяться дуже глибоко від поверхні

Землі, то для їх пошуку роблять свердловини, що потребує великих затрат часу та праці. Для пошуку родовищ використовують їх фізичні властивості; електропровідність, густину, магнітні властивості, швидкість поширення звукових хвиль та ін.

Після знаходження родовища досліджують форму залягання корисних копалин, площу поширення, глибину, хімічний склад, запаси тощо.

Якщо результати досліджень (розвідування) показують доцільність розроблення даного родовища, то приступають до видобування корисної копалини.

Під час видобування корисних копалин у земній корі утворюються порожнини, які називають **виробками**.

Виробки поділяють на:

- *розкривні виробки* відкривають доступ до корисної копалини.
- *підготовчими виробками* називають виробки, внаслідок яких корисні копалини підготовляють до видобування.
- *очисними виробками* називають виробки, пов'язані з добуванням корисних копалин.

Виробки поділяють на наземні (відкриті) і підземні (закриті).

Такий розподіл зумовлений розміщенням виробок у земній корі щодо поверхні Землі.

ТЕМА 2. СТРУКТУРА МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

Способи виробництва металів і сплавів. Метали та сплави, отримують різними способами. Найчастіше використовують пірометалургійний (від грецьк. «піро» – вогонь і металургія).

1. Пірометалургійний спосіб. За цим способом виробництво металів і сплавів ґрунтується на використанні теплової енергії, яка виділяється в процесі згоряння палива або протікання хімічних реакцій у сировині. Під час згоряння палива виділяється тепла енергія й утворюється СО. Теплову енергію використовують для розігрівання і розплавлення сировини, а СО – для відновлення металів із їх сполук (оксидів). Пірометалургійним способом отримують чавуни у доменних печах, сталі у мартенівських печах тощо.

2. Електрометалургійний спосіб. У процесі електрометалургійного способу метали та сплави отримують у дугових, індукційних та інших типах електричних печей. В електричних печах сировину нагрівають до вищих температур, ніж у ході пірометалургійного способу. Сировина плавиться дуже швидко.

3. Плазмовий спосіб. Суть плазмової металургії полягає в тому, що за температури 10000°C оксиди металу перетворюються на плазму з певним ступенем іонізації. Оскільки енергія іонізації атомів металів менша від енергії іонізації атомів кисню, то в такій плазмі атоми металу іонізуються, а атоми кисню залишаються нейтральними. З отриманої суміші за допомогою магнітного поля вилучають іони металу. У плазмових печах отримують вольфрам, молібден, синтезують карбіди титану тощо. Цей спосіб використовують для отримання дуже якісних металів і сплавів.

4. Хіміко–металургійний спосіб. Цей спосіб поєднує хімічні і металургійні процеси. Таким способом виробляють титан: з титанової руди отримують чотирихлористий титан ($TiCl_4$), який відновлюють за допомогою магнію (Mg).

5. Гідрометалургійний спосіб. За цим способом метали з руд, концентратів і відходів виробництва вилучають за допомогою розчинників. Потім з цих розчинів електролізом отримують метали. Так виробляють і рафінують кольорові метали: мідь, цинк, нікель, кобальт, хром, срібло, золото тощо.

Виробництво металів гідрометалургійним способом складається з таких стадій: підготовки руди до розчинення; розчинення руди або концентрату у розчиннику; очищення отриманого розчину від шкідливих для електролізу домішок; електроліз.

6. Порошкова металургія. Цей спосіб поєднує процеси, унаслідок яких виготовляють порошки металів і неметалевих сполук, з яких пресуванням (для надання форми і розмірів) із подальшим спіканням виготовляють вироби (заготовки, деталі тощо).

Виробництво залізовуглецевих сплавів. Досягнення науки й техніки, розвиток усіх галузей промисловості безпосередньо пов'язані з отриманням і використанням сплавів на основі заліза – чавунів і сталей. Основними споживачами цих металів є машинобудування, транспорт, будівництво. Ці галузі використовують майже 90% виплавлених чавунів і сталей.

Чавунами та сталями називають сплави заліза з вуглецем, які містять домішки (P, S, Mn, Si тощо).

Чавуни містять більше вуглецю і домішок, **сталі** – менше. Відрізняються і їх властивості. Чавуни тверді, крихкі, погано зварюються, але мають добрі ливарні властивості. Порівняно із сталями – дешевші.

Сталі, навпаки, мають велику міцність, пластичність, добре зварюються. Вони мають добрі технологічні властивості; вироби з них виготовляють тиском, різанням, литтям.

Зародження металургії на території України належить до дуже давніх часів. На той час залізо виробляли з болотних руд і деревного вугілля **сиродутним способом**. Суть цього способу полягає у відновленні заліза з його сполук за допомогою оксиду вуглецю (**CO**). Залізо при цьому не плавилось, а перебувало у вигляді губчастої маси, яка складалась із шматків заліза та шлаку. Цю масу називали **крицею**. Сиродутний спосіб отримання криці в Європі зберігався до 1850р., а в Північній Америці – до 1890 р. На сьогодні цей спосіб отримання заліза використовують у Центральній Африці, Китаї та деяких інших країнах.

Чавуни отримують із залізних руд, сталі – із чавунів. Отже перехід від руди до сталі відбувається **у два заходи**, спочатку варять чавун, а потім із чавуну варять сталь. Перехід від руди до сталі можна зобразити схематично (рис. 2.1)



Рисунок 2.1 – Схема переходу від руди до сталі

Ще донедавна це була єдина схема переходу від руди до сталі. З неї випливає, що для збільшення сталі, потрібної для промисловості, необхідно збільшити обсяг чавуну, а збільшення кількості чавуну відповідно спричинить збільшення видобування руди, палива, флюсу, споживання електроенергії. Крім збільшення матеріальних затрат це призведе до руйнування та забруднення відходами великих ділянок родючої землі, забруднення води, повітря та зайвих витрат. Життя людей у таких районах стає нестерпним, якщо не застосувати очисні споруди.

Тепер у світі практикують впровадження в дію способу переходу від руди до сталі, який обминає варіння чавуну. Такий перехід називають *безчавунним виробництвом сталі* (рис. 2.2). Із руди отримують грудки, в яких залізо відновлюють із сполук за допомогою CO , а потім із цих грудок у сталеварних агрегатах варять сталь.

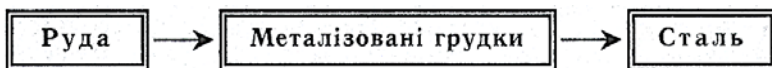


Рисунок 2.2 – Схема безчавунного виробництва сталі

Сучасне металургійне виробництво становить складний комплекс різноманітних підприємств, які базуються на родовищах руд, коксівного вугілля, флюсів, енергетичних потужностях (рис.2.3). Наприклад, Запорізький металургійний комплекс базується на криворізьких залізних рудах, нікопольських і токмацьких марганцевих рудах, донецькому кам'яному вугіллі, дніпровській гідроенергії і т.ін.

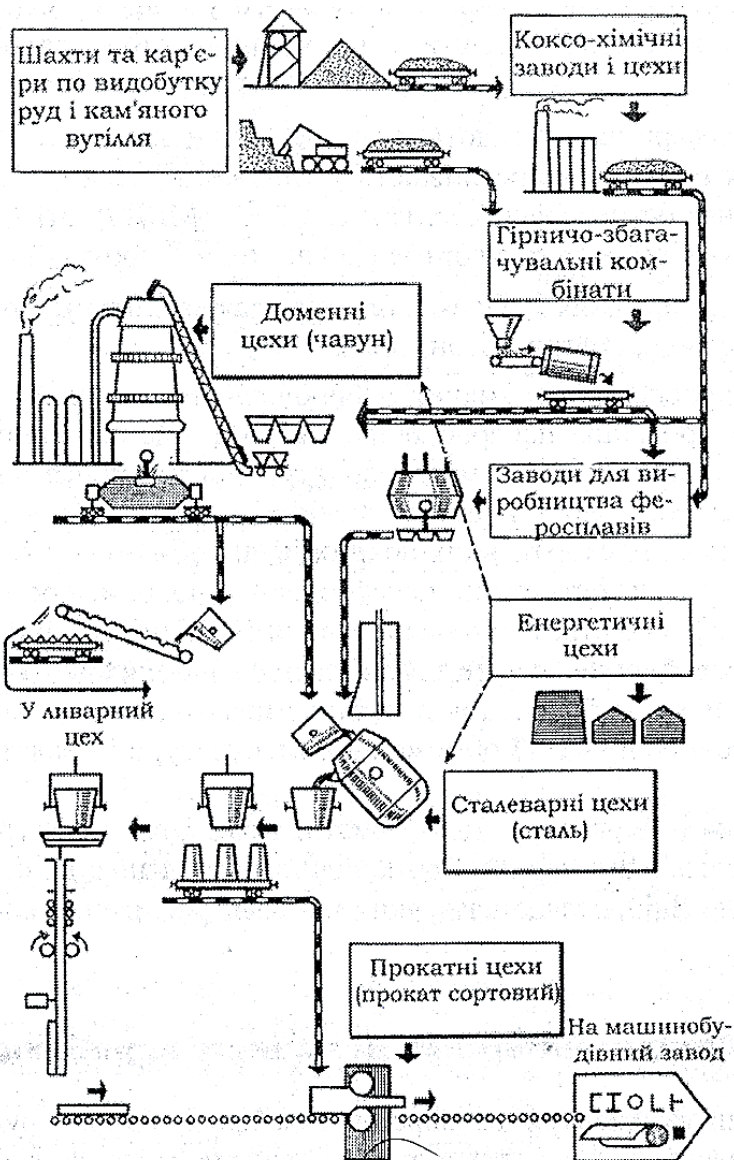


Рисунок 2.3 – Схема сучасного металургійного виробництва

Металургійне виробництво складають:

– *шахти і кар'єри*, які видобувають коксівне вугілля, залізні і марганцеві руди;

– *гірничо–збагачувальні комбінати* (ГЗК), на яких руда подрібнюється і збагачується;

– *аглофабрики*, на яких порошкоподібна руда після збагачення огрудковується;

– *копрові цехи (ділянки)*, де здійснюється підготовка металобрухту до сталеваріння;

– *доменні цехи*, в яких руда і кокс використовуються для отримання переробного чавуну, близько 85 % якого у рідкому стані поступає у цехи сталеваріння, а решта – на машинобудівні заводи у вигляді чушок;

– *цехи сталеваріння*, які мають мартенівські чи дугові печі або конвертори; у цих цехах сталь розливають у виливниці, отримуючи зливки, або на машинах безперервного лиття заготовок (МБЛЗ), отримуючи блюми і сляби;

– *прокатні цехи*, в яких із злиwkів, блюмів і слябів виготовляють готову продукцію (кутики, прутки, труби, лист).

Згідно з процесами отримання і оброблення металу у чорній металургії розрізняють чотири етапи перероблення:

перший – це виробництво чавуну з руди;

другий – сталі з чавуну і металобрухту;

третій – прокатування отриманої сталі;

четвертий – додаткове оброблення прокату (термічне зміцнення, нанесення захисних і декоративних покриттів і т.ін.).

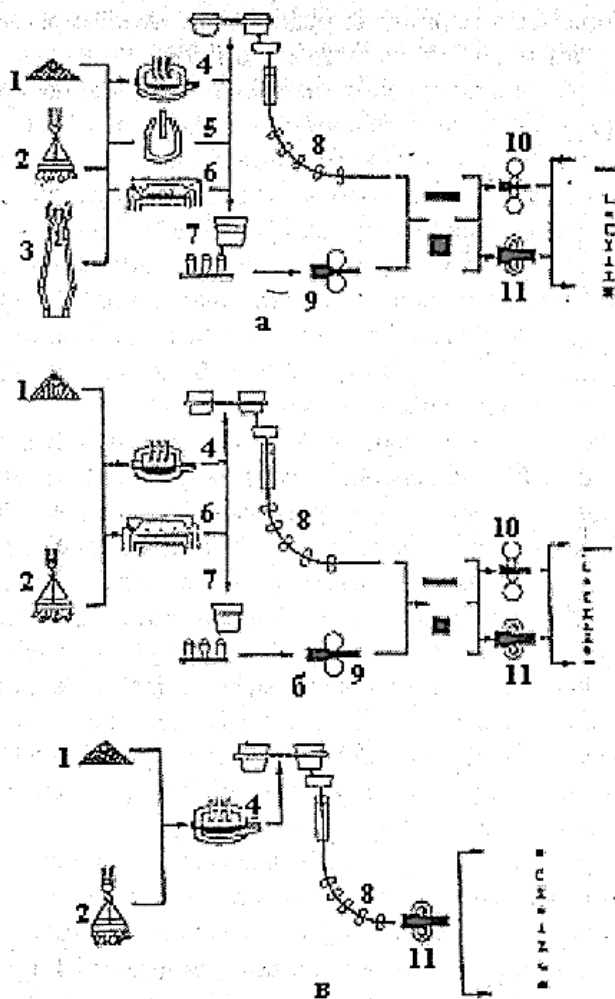
Залежно від кількості етапів перероблення, що здійснюється на даному виробництві, розрізняють:

– *інтегровані заводи (комбінати)*, які мають всі чотири етапи перероблення;

– *неінтегровані заводи*, на яких існує сталеваріння, прокатування і цехи з оброблення прокату;

– *мінізаводи*, які мають 1...2 потужні електродугові печі, МБЛЗ обмеженої номенклатури і прокатне виробництво (рис. 2.4).

Прикладом інтегрованого підприємства є металургійний комбінат «Запоріжсталь», який має всі 4 різновиди перероблення; прикладом неінтегрованого – завод «Дніпроспецсталь», який має електросталеплавильне і прокатне виробництво.



1 – металізовані окатки; 2 – брукхт; 3 – доменне виробництво; 4 – електросталеплавильне виробництво; 5 – конвертерне виробництво; 6 – мартенівське виробництво; 7 – розливання сталі у виливальниці; 8 – розливання сталі на МБЛЗ; 9 – обтискний стан; 10 – листопрокатне виробництво; 11 – сортопрокатне виробництво.

Рисунок 2.4 – Схема металургійних заводів: а – інтегрований завод; б – неінтегрований завод; в – міні-завод;

ТЕМА 3. ВИХІДНІ МАТЕРІАЛИ ДОМЕННОГО ВИРОБНИЦТВА. ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ ПРОЦЕСИ В ДОМЕННІЙ ПЕЧІ

Виробництво чавуну. Для виробництва чавуну необхідно мати сировину (руда, флюси), паливо, обладнання (для підготовки сировини, варіння та розливання чавуну), вогнетриви, воду та електричну енергію. Основною сировиною для виробництва заліза та сплавів на його основі (чавунів, сталей) є залізні руди.

Залізною рудою називають корисні копалини, які містять залізо у вигляді оксидів або солей, з'єднаних породою.

У рудах міститься 23...70 % заліза, решта – порода, яка складається з кварцитів, пісковиків і глини. Цінність руди визначається вмістом заліза, хімічною природою та властивостями породи, відновною здатністю заліза з його сполук та наявністю шкідливих домішок. Чим вищий вміст заліза в руді, тим менші затрати на її збагачення, вищі продуктивність доменних печей, менші витрати палива, а в кінцевому результаті менша собівартість чавуну. Наявність у рудах шкідливих домішок (фосфору та сірки) погіршує властивості чавуну.

У природі є понад 20 мінералів із великим вмістом заліза, проте промислове значення мають лише деякі:

1. Магнітний залізняк (магнетит) – мінерал чорного кольору, має магнітні властивості, незначну кількість шкідливих домішок (фосфору, сірки), але трудно відновлюється. У руді міститься 45–70% заліза у вигляді оксиду Fe_3O_4 .

2. Червоний залізняк (гематит) – мінерал чорного кольору. Залізо в руді міститься у вигляді безводного оксиду (Fe_2O_3). Порівняно з магнітним залізнякам вміст заліза дещо менший і становить 55–60%. Руда практично не містить шкідливих домішок, легко відновлюється. Це найпоширеніший вид залізної руди.

3. Бурий залізняк на відміну від червоного містить 35...50 % заліза у вигляді водного оксиду ($nFe_2O_3 \cdot mH_2O$). Руда містить значну кількість домішок, легко відновлюється.

4. Шпатовий залізняк (болотна руда) містить 30...40 % заліза у вигляді карбонату заліза ($FeCO_3$).

5. Залізисті кварцити містять залізо у вигляді оксидів (Fe_2O_3) і (Fe_3O_4). Вміст заліза малий – 30...40 %. Залізисті кварцити дуже трудно збагачуються тому їх почали використовувати не так давно. Порода складається із сполук силіцію.

Паливо. Для вилучення з шихти залишків породи, попелу і жужелиці та частково сірки використовують спеціальні речовини, які називають **флюсами**.

У процесі виробництва чавуну використовують деревне вугілля, кокс, природний і доменний газ, а останнім часом практикують використання подрібненого вугілля.

До палива, як і до руди, ставлять певні вимоги: велика міцність, відсутність крихкості, оскільки дрібні кусочки палива перешкоджають руху пічних газів і сповільнюють процес відновлення заліза зі сполук.

З усіх видів палива, які в наш час використовуються для отримання чавуну, першість належить коксу. Кокс у середньому містить 10...13 % жужелиці та 0,5...2 % сірки.

Певну кількість руди, палива та флюсу називають шихтою.

Для підвищення продуктивності доменних печей, зменшення витрати палива та поліпшення якості чавуну руду спеціально готують до перероблення (рис. 3.1):

- подрібнюють вальцями або у млинах (елемент 1);
 - сортують отримані куски руди за розмірами на решетах і ситах (елемент 2);
 - збагачують промиванням водою, гравітацією, магнітацією, флотацією у спеціальних машинах–сепараторах (елемент 3);
 - грудкують на грануляторах (елемент 4);
 - виготовляють офлюсований агломерат на агломераційних машинах (елемент 5).
- Підготовлену руду (куски розміром 20...40 мм), паливо і флюси, взяті у певній кількості, пошарово завантажують у доменну піч, де внаслідок фізико–хімічних процесів сировина перетворюється на чавун (елемент 6).

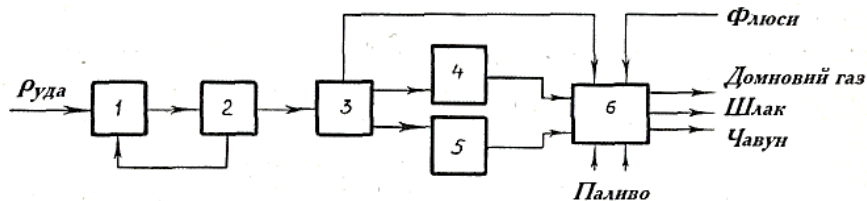


Рисунок 3.1 – Технологічна схема виробництва чавуну

Будова та принцип роботи доменної печі зображено на рисунку 3.2.



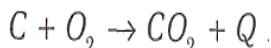
Рисунок 3.2 – Схема доменної печі

У доменну піч зверху засипають шихту – суміш коксу, залізної руди та флюсів. Знизу подається повітря. Розплавлений чавун збирається в нижній частині доменної печі. Зверху над ним збираються легкоплавкі шлаки. Операції з підготовки шихти, завантаження її в домну, випуску чавуну і шлаків періодичні і автоматизовані. Доменна піч після пуску працює безперервно 5...6 років, а інколи навіть і до 10 років. Потім її зупиняють, очищують, проводять ремонтні роботи і знову запускають.

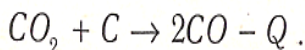
Фізико–хімічні процеси отримання чавуну. Під час варіння чавуну в домні відбуваються такі процеси:

- горіння палива;
- відновлення заліза та інших хімічних елементів, які містяться в шихті, з їх сполук;
- науглецьовування заліза.

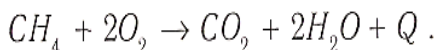
1. *Горіння палива.* Завантажена в піч шихта опускається до рівня фурм і паливо згоряє в потоці гарячого повітря, яке подають під тиском:



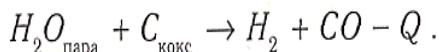
Температура підвищується до 1600...1800 °С. Оксид вуглецю (CO₂), піднімається, проходить через розжарений кокс, взаємодіє з вуглецем і відновлюється до СО:



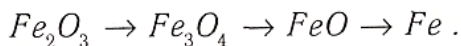
Природний газ складається в основному з метану (CH₄), який згоряє:



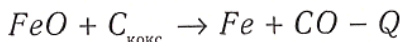
Це не є кінцевою реакцією, оскільки CO₂ відновлюється вуглецем до СО. Водяна пара також взаємодіє з вуглецем розжареного коксу:



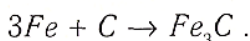
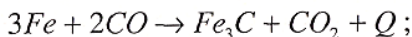
2. *Відновлення заліза.* Залізо із сполук, в яких воно міститься в руді, відновлюється за допомогою оксиду вуглецю (СО), водню (H₂) і розжареного коксу (С). Оксиди заліза відновлюються послідовно від вищих оксидів до нижчих і далі до чистого металу:



Відновлення починається за температури 400...500 °С, а закінчується – за температури 1300...1400 °С (у розпарі печі). За цих температур залізо перебуває в твердому стані й має вигляд твердої пористої маси (Т_{пл.} заліза = 1539°С), яку називають «губчатим» залізом. До температури 950°С має місце непряме відновлення заліза, яке відбувається за участю СО і H₂. За вищих температур у розпарі печі відбувається пряме відновлення оксидів заліза за допомогою розжареного коксу (вуглецю):



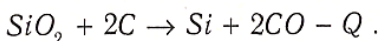
3. Навуглецювання заліза. У стовбурі печі за температур понад 400...500 °С поряд із відновленням заліза відбувається його науглецювання. Процес науглецювання можна зобразити у вигляді реакцій, які проходять між залізом і науглецювальним середовищем, яким є CO і C:



Отриманий цементит (Fe₃C) добре розчиняється у залізі й утворює з ним сплав. Із збільшенням вмісту вуглецю температура залізовуглецевих сплавів знижується і якщо вміст вуглецю дорівнює 4,3 %, становить 1147°С. У горні температура перевищує 1800 °С. Утворений сплав стікає в горно.

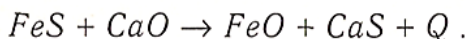
4. Відновлення домішок. У шихті разом з основними елементами – залізом і вуглецем – завжди містяться домішки, а також сполуки інших, не завжди бажаних елементів, таких як сірка, фосфор, манган, кремній тощо.

Постійними **корисними** домішками, які поліпшують властивості чавуну, є манган і кремній, а **шкідливими**, що надають чавуну, а потім і сталі, крихкості, – сірка та фосфор. Відновлення мангану та кремнію відбувається за температури відповідно 1100 і 1450 °С:



Відновлені домішки Mn і Si, розчиняються в залізі, входять до складу сплаву та поліпшують його властивості.

Сірка потрапляє в шихту разом із рудою, коксом або флюсами. Частина сірки окислюється у верхній частині печі та виноситься з печі разом із доменним газом, а частина – переходить у шлак:



Фосфор потрапляє до шихти так само, як і сірка, тобто з рудою, коксом і флюсами. Фосфор відновлюється за допомогою оксиду вуглецю (CO), водню (H₂), а також твердого вуглецю (C) за

температури 900...1100 °С. Практично весь відновлений фосфор переходить у розплав.

5. *Утворення шлаку* (нім. «Schlacke»). У процесі складання шихти велику увагу приділяють кількості флюсів, оскільки склад шлаку впливає на хід фізико-хімічних процесів, які відбуваються в шихті, а також на вміст домішок у чавуні.

Оптимальним вважається шлак такого складу, %: 40...50 CaO, 38...40 SiO₂, 7...10 Al₂O₃.

Чим більша кількість CaO у шлакові, тим краще чавун очиститься від сірки. Утворений шлак стікає в горно печі та спливає на поверхню чавуну, оскільки він легший. Чавун із печі випускають у ковші – чавуновози, які перевозять його у сталеварні чи ливарні цехи, або розливають у виливниці. Шлак випускають у шлаковози.

У процесі перероблення залізної руди в доменній печі отримують чавун, шлак, доменний газ, доменний пил. Чавун – основна продукція, а шлак, доменний газ – побічна. Спеціалісти металургійної промисловості підраховали, що майже половина руди переходить у шлак. Так, доменна піч об'ємом 3000 м³ за добу перероблює 8500 т шихти, а видає 5000...5500 т чавуну.

Шлаком називають речовину, яка утворилася внаслідок взаємодії породи, попелу чи жужелиці, деяких домішок і флюсів. Шлак випускають з печі через льотки в ковші – шлаковози. Шлак почали використовувати для виготовлення будівельних матеріалів: шлакової цегли, блоків тощо. Більшу частину шлаку після гранулювання використовують для виробництва цементу. Із шлаку виробляють мінеральні добрива, які знижують кислотність ґрунтів, оскільки містять CaO.

Вода, в якій охолоджували шлак, містить розчинену сірку. Вона має цілющі властивості. Цю воду використовують для лікування робітників-металургів.

Продукція доменної печі. Під час згоряння 1 т коксу утворюється близько 5000 м³ газу. **Доменний газ** містить значну кількість горючих речовин: до 30 % CO і 4 % H₂. Після очищення від пилу і шкідливих речовин доменний газ використовують як паливо для нагрівання повітрянагрівників, доменних та інших печей.

Використовують також тиск доменного газу. Так, на домні «Криворіжсталь» поставили турбіну, що виробляє електроенергію, якою повністю забезпечують піч. Для нормальної роботи печі тиск

газу під колошником має становити близько 0,25 МПа. Доменний пил містить до 50 % заліза. Його використовують у процесі агломерації залізних руд.

Показники роботи доменної печі. Основними показниками роботи доменної печі є продуктивність, питома витрата палива, собівартість чавуну.

Продуктивністю домни називають кількість чавуну, виплавленого за добу.

Для порівняння продуктивності печей різного об'єму введено коефіцієнт використання корисного об'єму (**К.В.К.О.**) печі:

$$К.В.К.О. = \frac{V}{P} .$$

де V – корисний об'єм печі (від рівня засипання шихти до череня); P – середньодобова продуктивність печі

Чим меншим буде цей показник, тим ліпше піч працює, більша її продуктивність і навпаки. На кращих металургійних підприємствах **К.В.К.О.** – 0,5...0,7.

Продуктивність праці визначають кількістю чавуну, виплавленого одним робітником–металургом за рік.

Питома витрата палива є важливим показником доменної печі. Цей показник визначає кількість палива, витраченого на отримання 1 т чавуну. У кращих домнах на отримання 1 т чавуну витрачають близько 550 кг коксу.

Собівартість чавуну враховує вартість сировини, палива, води, амортизацію основних фондів і заробітну платню працівників–металургів тощо. Основну частку собівартості чавуну становлять сировина: руда, флюси та паливо (понад 92 %). Найдешевшим є переробний чавун. На виробництво 1 т переробного чавуну витрачається найменше палива. Найбільше палива витрачається на отримання легованих чавунів та феросплавів.

ТЕМА 4. СТАЛЬ, ЇЇ РІЗНОВИДИ ТА СПОСОБИ ВИРОБНИЦТВА

У світі сталь варять у конвертерах (з 1856 р.), мартенівських (з 1864 р.), електричних (з поч. ХХ ст.) і плазмових печах.

Сировиною для виробництва сталі є: Переробний чавун, скрап, флюси, окиснювачі, легуючі елементи (у процесі виробництва легованих сталей). Основу шихти складають чавун і скрап. Вони становлять понад 90 % шихти.

Чавун використовують як розплавлений, так і твердий. Якщо на металургійному заводі є доменний цех, то використовують розплавлений чавун, якщо немає, – твердий.

Скрап (від англ. «*scrap*» – шматок) – відходи отримані в процесі штампування, різання, брак у ході виготовлення відливків у ливарних цехах тощо.

Флюси – це складова шихти, яка необхідна для виведення породи, попелу чи жужелиці, сірки та фосфору з розплаву. При виплавленні сталі флюсами є вапняк ($CaCO_3$) і вапно (CaO).

Окиснювачі є носіями кисню, потрібного для окиснення домішок. Окиснювачами можуть бути залізна руда, яка не містить фосфору та сірки, кисень тощо.

Розкиснювачі потрібні для виведення кисню з розплавленої сталі. Для цього використовують сплави заліза з манганом і заліза з кремнієм, а також алюміній. Розкиснювачем є і вуглець, який міститься в розплаві.

Легувальні елементи додають до вуглецевих сталей для надання їм кращих властивостей, а саме: великої міцності, жароміцності, жаростійкості, корозостійкості тощо. Сталі легують Ni, Cr, Ti, V, Mo, W, Si та ін.

Джерелом теплової енергії є паливо (мазут, природний, доменний і коксовий газ, кам'яновугільний пил тощо). Для отримання теплової енергії крім палива використовують також хімічну, електричну та інші види енергії.

У процесі варіння сталі на відміну від варіння чавуну мають місце реакції окиснення компонентів сировини. Отже, **сталеваріння** – це процес окиснення заліза, вуглецю та домішок (кремнію, мангану, фосфору, сірки тощо).

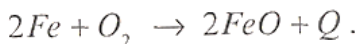
Залежно від складу шихти процес сталеваріння може відбуватися: з окисненням або без окиснення.

Сталеваріння з **окисненням** відбувається тоді, коли до складу шихти входить чавун.

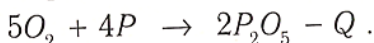
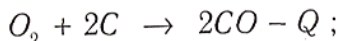
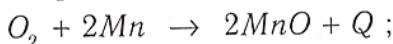
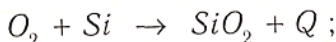
Без окиснення, коли шихту (скрап або скрап і легувальні елементи) лише переплавляють (це має місце у процесі виплавляння легованих сталей).

Окиснення компонентів розплавленої шихти відбувається *спочатку* за рахунок кисню, який міститься в атмосфері над шихтою та її розплавом, *потім* за рахунок кисню, розчиненого в розплавленій шихті, а це є оксид заліза (**FeO**).

Згідно із законом діючих мас швидкість хімічних реакцій пропорційна до концентрації реагуючих речовин. Отже спочатку окиснюється залізо:

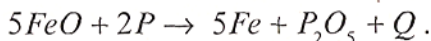
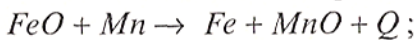
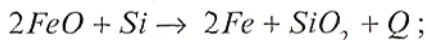
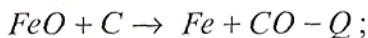


Доти, поки на поверхні розплаву не утвориться шар шлаку, кисень атмосфери окиснює також інші компоненти шихти – тепер розплаву:

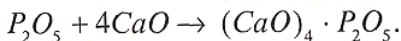


Утворені продукти реакції (шлак) спливають на поверхню розплаву та захищають його від подальшого окиснення киснем атмосфери.

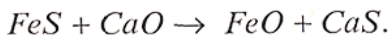
Потім окиснення відбувається під шаром шлаку за участю **FeO**. За високої температури оксид заліза (**FeO**) розчиняється в розплаві й віддає свій кисень елементам, які мають вищу хімічну спорідненість до нього, ніж залізо. Це відбувається згідно з реакціями:



Сполука P_2O_5 нестійка, вона розпадається і фосфор знову повертається в розплав. Щоб запобігти цьому, до складу шихти додають флюси, роль яких виконує вапняк ($CaCO_3$) або негашене вапно (CaO):



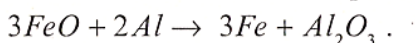
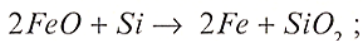
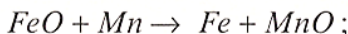
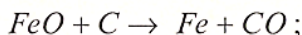
Одночасно з виведенням фосфору відбувається процес виведення з розплаву сірки:



Таким чином утворюється шлак, який складається з SiO_2 , MnO , $(CaO)_4 \cdot P_2O_5$, CaS , а також частинок футерівки агрегату.

Завершальною операцією сталеваріння є розкиснення сталі: виведення кисню з розплаву та відновлення оксиду заліза (FeO).

Сталь розкиснюють частково вуглецем, який міститься в розплаві, та спеціально доданими до розплаву речовинами, які називають розкиснювачами. Розкиснювачі додають під час варіння сталі або при випусканні її з агрегату. Процес розкиснення можна зобразити так:



Залежно від того, як добре очищений розплав від кисню, сталі поділяють на:

- спокійні (добре очищені),
- напівспокійні (частково очищені),
- киплячі (погано очищені).

Леговані сталі отримують додаванням до розплаву вуглецевої сталі певної кількості феросплавів або чистих металів: нікель і кобальт вводять в агрегат під час плавлення шихти; алюміній, манган, кремній, ванадій, титан – після розкиснення, а іноді під час виливання сталі у ківш.

Конвертери. У 1856 р. англійський винахідник Г. Бессемер уперше переробив чавун на сталь. Для отримання сталі чавун продували стисненим повітрям.

Конвертер (англ. «*converter*» від лат. «*converto*» перетворюю) Г. Бессемера футерований динасовою цеглою, тому в ньому переробляють на сталь чавун, який не містить фосфору та сірки. Об'єм конвертера становить 10...35 т, час продування чавуну повітрям – 12...15 хв. Отримана сталь містить збільшену кількість азоту, що надає їй крихкості.

У 1878 р. англієць **С.–Дж. Томас** запропонував змінити в конвертері Г. Бессемера футерівку з динасової цегли на доломітову. Це дало можливість використовувати флюси (вапняк) і переробляти чавуни, які містять більшу кількість фосфору і сірки. Проте якість отриманої сталі залишалася незадовільною. Сталь забруднювалась азотом.

Пошуки вдосконалення конвертерного способу виробництва сталі привели до продування чавуну в конвертері Томаса технічно чистим киснем замість повітря. Це сталося в 1933 р. Унаслідок заміни повітряного дуття на кисневе температура розплаву в зоні дії кисню підвищилась до 3000 °С. До складу шихти почали додавати скрап. Якість сталі наблизилась до рівня мартенівської.

Продуктивність кисневого конвертора значно більша, ніж мартенівської печі. Так, за 1 год. у 300–тонному кисневому конвертері отримують 400...500 т сталі, у мартенівській печі – не більше 80 т. Крім того, варіння сталі в конвертерах не потребує палива. Шихта розплавляється за рахунок теплоти, яка виділяється в процесі окиснення домішок. Це реакції екзотермічні. Тому виробництво сталі в кисневих конвертерах постійно збільшують, а в мартенівських печах, навпаки, зменшують.

Будова та принцип роботи кисневого конвертера зображено на рисунку 4.1. Конвертер має грушовидну форму. Із зовні конвертер окутий сталлю, підперезаний сталевим кільцем і може повертатись навколо горизонтальної осі на кут 180°. У середині він викладений вогнетривкою доломітовою цеглою 2. Верхня частина конвертера закінчується горловиною, через яку завантажують шихту, подають кисень, виводять газові продукти реакції та виливають шлак. Збоку є лютька 1 для виливання сталі.

Об'єм сучасних конвертерів становить 250...400 т. Кисень подають через фурми 3 під тиском 0,9...1,4 МПа. Фурми охолоджують водою. У великих конвертерах – понад чотири фурми.

Для кращого перемішування розплаву фурми розташовують під кутом до розплаву.

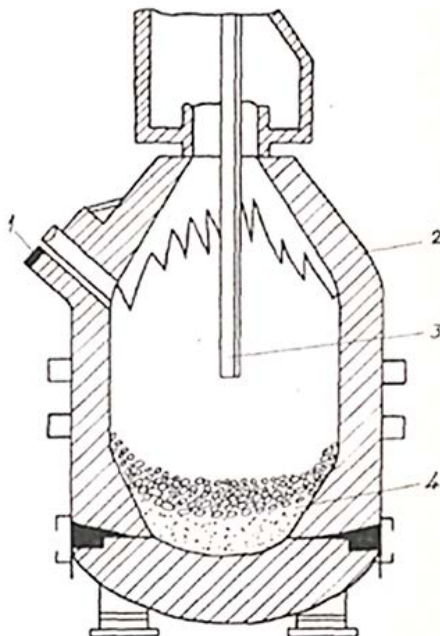


Рисунок 4.1 – Схема будови кисневого конвертера

Сировина для виробництва сталі, розплавлений чавун, сталевий скрап (25...30% маси чавуну), вапняк, залізна руда (до 25%), розкиснювачі та легувальні елементи (при виплавленні легованих сталей).

Для завантаження шихти 4 конвертер нахиляють, засипають скрап, заливають розплавлений чавун і повертають у вертикальне (робоче) положення. Потім вставляють фурми і продувають киснем. У цей самий час засипають частину флюсів і залізної руди, решту додають у процесі сталеваріння. На 1 т розплаву протягом 1 хв. витрачається 1,8...4,0 м³ кисню.

Залежно від об'єму конвертера час продування киснем становить 1,5...25 хв. Момент закінчення подавання кисню

визначають кількістю витраченого кисню та забарвленням полум'я, яке виривається з горловини конвертера.

Буре забарвлення полум'я свідчить про горіння заліза. Отже, подання кисню припиняють. Сталь готова. Після закінчення сталеваріння фурми витягають, конвертер повертають у горизонтальне положення, беруть пробу металу та шлаку на хімічний аналіз. Потім через лютку випускають у ківш сталь, а через горловину у шлаковози, зливають шлак. Розкиснювачі додають до сталі під час виливання її у ківш.

У кисневих конвертерах отримують практично всі вуглецеві сталі й частину малолегованих. Із конвертерної сталі, виробляють кузови автомобілів, балки, швелери тощо.

Мартенівські печі. Оскільки в конвертері Г. Бессемера температура розплавленого чавуну низька (1200...1300°C), переробляти скрап не можна. Його температура плавлення набагато вища. Тому 8 квітня 1864 р. французькі металурги Е. Мартен і П. Мартен (батько і син) запропонували новий агрегат, який на честь винахідників назвали мартенівською піччю.

Мартенівські печі мають різну конструкцію. Вони є однованними, двованними, стаціонарними, рухомими тощо.

Однованна мартенівська піч. На рис. 4.2 подано схему будови однованної мартенівської печі, яка складається з ванни 1, в якій вариться сталь, і регенераторів 5 для нагрівання повітря та палива. Ванну викладено з динасової або магнезитової чи доломітової вогнетривкої цегли. У ванні є вікна 4, через які завантажують шихту, беруть проби металу та шлаку на аналіз і слідкують за процесом варіння сталі. Ванна разом із склепінням 2 утворюють плавильний простір 3. Готову сталь випускають через отвори—«льотки», розташовані внизу ванни. Отвори для випуску шлаку розташовані вище. Вікна закривають заслінками, а отвори щільно забивають вогнетривкою глиною. Перед випусканням сталі та шлаку спечені вогнетриви з отворів вибивають.

Складовою частиною мартенівських печей є регенератори 5 – це камери, викладені вогнетривкою цеглою. Регенератори призначені для нагромадження теплоти пічних газів із подальшим її використанням для підігрівання повітря та газового палива. Регенеративний спосіб підігрівання повітря та палива винайшли англійці – брати *Сіменси*.

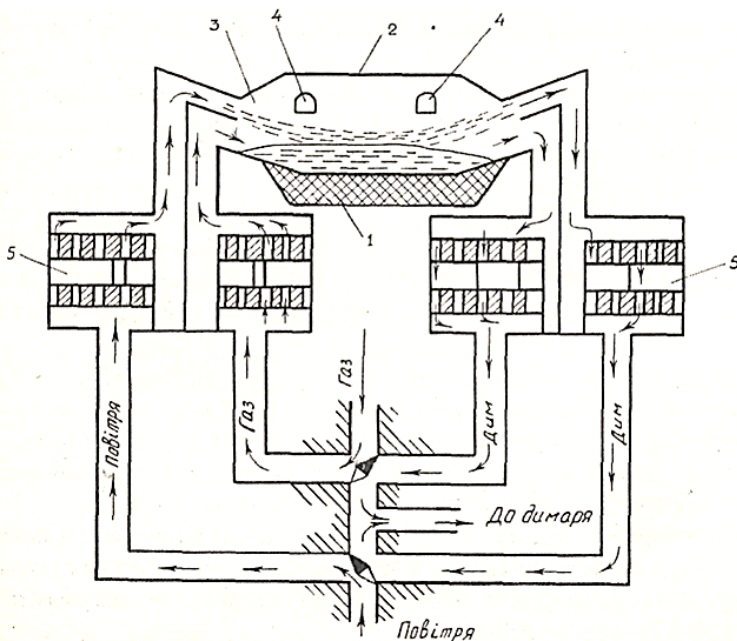


Рисунок 4.2 – Схема будови однованної мартенівської печі

Мартенівська піч може мати один або два регенератори. Це залежить від виду палива. Печі, які працюють на рідинному або висококалорійному газовому паливі, мають один регенератор для нагрівання повітря, що спрощує конструкцію й експлуатацію печі та відповідно зменшує собівартість сталі.

На відміну від конвертерів мартенівські печі – це агрегати безперервної дії. Їх зупиняють лише на капітальний ремонт через 200...1000 разів варіння сталі залежно від довговічності склепіння печі. Склепіння, викладене динасовою цеглою, витримує 200...350 разів варіння сталі, а хромомагнетитовою – 300...1000.

Об'єм ванн сучасних печей становить 200...900 т. У малих печах можна зварити сталь за 3..4 год. Час варіння сталі у великих печах досягає 18 год.

Удосконалюють мартенівський спосіб варіння сталі двома шляхами: заміною нерухомих (стаціонарних) печей на рухомі та побудовою двованних печей. У рухомих печах ванна нахилиється за допомогою гідравлічного або механічного приводу, що полегшує її

завантаження шихтою та виливання отриманих сталі та шлаку. Проте конструкція таких печей складна, тому їх використовують рідко.

Технологія варіння сталі в мартенівській печі. Основними складовими шихти є чавун (твердий і розплавлений) і скрап.

Залежно від співвідношення цих складових процеси варіння сталі поділяються на скрап–процес, скрап–рудний процес тощо.

У ході скрап–процесу до ванни завантажують:

- 55–75% скрапу,
- 25–45% твердого чавуну.

У ході скрап–рудного процесу завантажують:

- розплавлений чавун (55–75%),
- руду (12–20%),
- скрап.

Найчастіше застосовують скрап–рудний процес. Сталь варять у ваннах, викладених магнезитовою або доломітовою цеглою.

Технологічний процес варіння сталі в мартенівській печі з використанням скрап–рудного процесу складається з таких операцій:

- заправлення череня вогнетривами,
- завантаження та прогрівання твердих складових шихти,
- заливання розплавленого чавуну,
- розплавлення шихти, кипіння розплаву,
- розкиснення та випускання готової сталі.

Завантажують шихту за допомогою спеціальних машин. Спочатку завантажують частину скрапу, потім сиплять до нього вапняк і залізну руду. Після прогрівання додають решту скрапу та нагрівають до температури плавлення чавуну.

Заливають розплавлений чавун з ковша по спеціально встановленому жолобу.

Кипіння розплаву – це важливий момент варіння сталі. Із розплаву виділяється CO у вигляді бульбашок. При цьому розплав перемішується, вирівнюється його температура та хімічний склад. Після досягнення в розплаві потрібного вмісту вуглецю приступають до останньої операції технологічного процесу варіння сталі – розкиснення. Для цього до розплаву додають визначену (розраховану) кількість феросплавів ($FeMn$ і $FeSi$), унаслідок взаємодії їх із киснем зменшується вміст оксиду заліза (FeO) в розплаві. Після розкиснення беруть контрольну пробу розплавленої сталі та шлаку на аналіз, відкривають льотку і по жолобу випускають сталь у ківш.

Двованна мартенівська піч. Принцип роботи двованної печі такий (рис. 4.3): коли в правій – ванні 1 шихта 2 нагрівається та плавиться, що потребує найбільшої витрати теплоти, то – в лівій розплав 5 через фурми 4 продувають киснем.

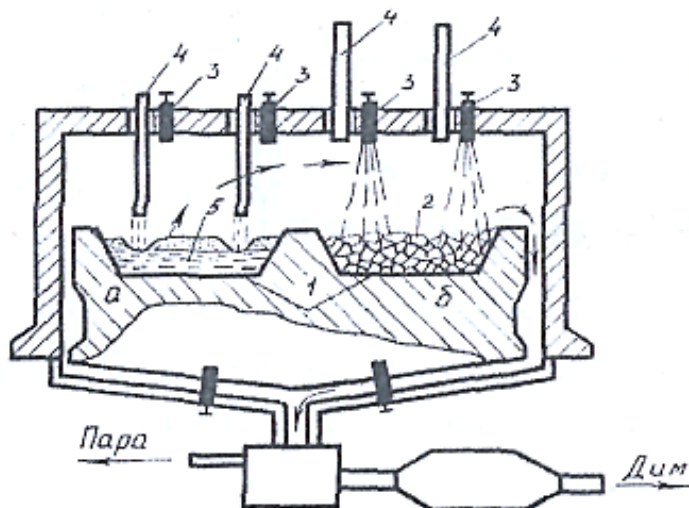


Рисунок 4.3 – Схема будови двованної мартенівської печі

Для плавлення шихти використовують газове паливо, яке подають до газових пальників 3. Під час взаємодії кисню з вуглецем, який міститься в розплаві, утворюється CO , який спрямовують до правої ванни, де він догоряє над шихтою, що сприяє її швидкому нагріванню. Після закінчення варіння сталь з лівої ванни виливають, ванну завантажують твердою шихтою, а до правої ванни тим часом заливають чавун, який починають продувати киснем. Змінюють напрям руху пічних газів, спрямовуючи їх на шихту в лівій ванні. І так почергово.

Двованні печі порівняно з однованними мають такі *переваги*:

- простота конструкції,
- зменшення витрат палива в 4...6 разів;
- у 2 рази більша продуктивність. Відповідно собівартість сталі буде меншою.

Основні показники роботи мартенівських печей.

Продуктивність печі визначають кількістю сталі, отриманої за добу, що припадає на 1 м^2 площі печі. У середньому цей показник становить $8 \dots 12 \text{ т/м}^2$. У ході інтенсифікації процесу сталеваріння продуктивність печі збільшується до $20 \dots 30 \text{ т/м}^2$.

Витрати шихти на 1 т готової сталі становлять $1050 \dots 2000 \text{ кг}$.

Вихід придатного металу (сталі) – $91 \dots 95\%$.

Витрати умовного палива на 1 т сталі становлять $10 \dots 20\%$ кількості отриманої сталі.

Кількість сталі, що припадає на одного робітника, у великих мартенівських печах, коли сталь варять скрап–рудним процесом, становить $2000 \dots 3000 \text{ т}$ на рік.

Собівартість 1 т мартенівської сталі залежить від вартості шихти та інших затрат.

У мартенівських печах варять якісні вуглецеві (конструкційні, інструментальні) та леговані сталі. Перспектива розвитку сталеваріння в мартенівських печах полягає в повній заміні однованних печей на двованні, впровадження системи автоматичного контролю керування технологічними процесами варіння сталі.

Електричні печі. Використовувати електричні печі для варіння сталі почали з к. XIX – поч. XX ст. Це досконаліші агрегати для варіння сталі порівняно з кисневими конвертерами та мартенівськими печами:

- в електричних печах легко регулюється нагрівання шихти зміною сили струму;
- можна створити над розплавом певну атмосферу: окисну, нейтральну або вакуум;
- розплавлена шихта нагрівається до вищої температури, а це дає можливість легувати сталі трудноплавкими металами (*W, Mo, Nb* та ін.);
- менше вигоряє заліза;
- отримана сталь значно якісніша, оскільки містить менше домішок (фосфору, сірки, азоту), неметалевих включень.

Для варіння сталі використовують дугові та індукційні електричні печі.

Дугова електрична піч. Дугова піч виготовлена у формі циліндра з плоским дном (рис. 4.4). Ззовні вона окутана сталлю,

усередині викладена вогнетривкою динасовою або хромомagneзитовою цеглою. Склепіння печі 2 має три отвори для електродів 3, які виготовляють із вуглецю або графіту. Діаметр електродів становить 400...500 мм, а довжина сягає до 2 м. Число електродів відповідає числу фаз електричного струму. У стіні корпуса печі 1 є вікно 4 для завантаження в піч розкислювачів, зливання шлаку, взяття проб металу та шлаку на аналіз. На час роботи печі вікно закривають. Готову сталь виливають через випускний отвір, який має зливний жолоб 7. Для цього піч нахилиють у бік зливного жолоба.

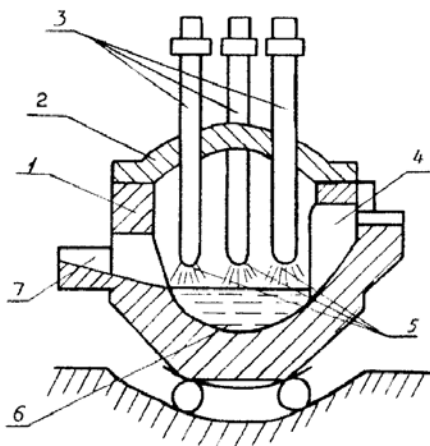


Рисунок 4.4 – Схема будови дугової електричної печі

Для завантаження у піч шихти (скрап, чавун, розкислювачі, легувальні елементи) склепіння піднімають або відсувають вбік. Нагрівають і розплавляють шихту 6 теплою, яка виділяється під час горіння електричних дуг 5, що утворюються між електродами та шихтою. У процесі варіння сталі електроди згорають, їх замінюють новими. Піднімають і опускають електроди за допомогою спеціального механізму. Довжини дуг регулюються автоматично. Об'єм електричних печей 2,5...200 т, тривалість варіння сталі, що залежить від об'єму печі та марки сталі, становить 2...6 годин.

Технологія варіння сталі складається з таких операцій:

- заправлення череня;

- завантаження шихти;
- опускання електродів;
- розплавлення шихти та окислення домішок;
- зливання шлаку;
- кипіння розплаву;
- розкислення розплаву;
- випускання готової сталі.

Шихту завантажують у піч так: спочатку подають малі, потім більші, а далі великі куски шихти. Шихту вкладають щільно. Потім опускають до самої шихти електроди і вмикають струм. *Починається плавлення шихти*: окислюються домішки (кремній, манган, фосфор тощо), вуглець і частково залізо; утворюється первинний шлак і виділяються газ.

Шлак зливають, додають флюс та руду. *Наступає кипіння розплаву і виділяються газ.* Після закінчення кипіння беруть проби сталі та шлаку на аналіз і знову зливають шлак. Потім сталь розкислюють та виводять сірку. Для цього до розплаву додають розкислювачі та флюси. У кінці розкислення знову беруть пробу розплаву на аналіз. У разі потреби додають легуючі елементи (у процесі варіння легованих сталей). Остаточне розкислення сталі проводять алюмінієм. Готову сталь випускають у ківш.

Основні показники роботи дугових електричних печей.

Продуктивність печі визначають кількістю сталі, яку отримують за добу на 1000 кВ•А потужності трансформатора. Для середніх за об'ємом печей продуктивність становить 12...15 т.

Витрати електроенергії дорівнюють 500...600 кВт•год.

Витрати графітових електродів на 1 т сталі – 6,5 кг.

Шляхи поліпшення цих показників полягають у збільшенні потужності трансформаторів, впровадженні позаагрегатного рафінування сталі, кисневого дуття, електромагнітного перемішування розплаву, використанні металізованих грудок (замість чавуну), збільшенні об'єму печей до 500...600 т і кількості електродів до 6 штук.

Індукційна піч. Цей сталеварний агрегат складається з вогнетривкого керамічного тигля 1 та індуктора 2, приєднаного до генератора великочастотного струму (рис. 4.5). Індуктор виготовлений із мідної трубки у вигляді багатовиткової спіралі. Для охолодження індуктора використовують воду, яка циркулює всередині трубки–

індуктора. Тигель накривають накривкою 5, що дає можливість створити в печі окислювальну, відновлювальну або нейтральну атмосферу.

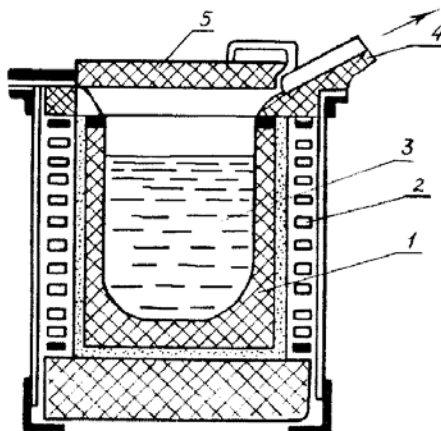


Рисунок 4.5 – Схема будови індукційної печі

Шихтою для виробництва сталі є чистий (з малою кількістю домішок фосфору і сірки) та приблизно однаковий за хімічним складом скрап. Під дією індукційного струму в шихті виникають вихрові струми, які призводять до її розплавлення. Наприкінці процесу сталеваріння до розплаву 3 додають розкислювачі та легувальні елементи. Готову сталь виливають жолобом 4 у ковші та подають на розливання або у ливарні цехи для виготовлення відливків.

Об'єм тиглів індукційних печей не перевищує 30 т. У цих печах варять багатолеговані сталі та сплави особливого призначення. Отримані сталі мають малий вміст вуглецю (у дугових електричних печах не можна виплавити сталь із малим вмістом вуглецю, оскільки вугільні електроди є джерелом науглецювання розплаву). Крім того, ці сталі (їх називають індукційними) дуже якісні: вони мають малий вміст азоту та неметалевих включень.

Основні недоліки, індукційних печей – малий об'єм тиглів, невеликий термін їх використання (в одному тиглі можна варити сталь до сто раз), велика вартість електричного обладнання тощо.

ТЕМА 5. СПОСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ. ПРЯМЕ ОТРИМАННЯ ЗАЛІЗА (СТАЛІ)

Безчавунне виробництво сталі. Виробництво чавуну у доменних печах потребує значних витрат:

- дорогого палива (коксу, природного газу),
- флюсів,
- електроенергії для підготовки дуття високого тиску (дуття – це процес подання повітря збагаченого киснем тощо),
- води для охолодження печей і шлаку.

Крім того, виробництво чавуну забруднює довкілля: повітря – викидними газами, пилом; землю – відвалами шлаку; воду – шкідливими речовинами тощо.

Саме тому в світі практикують поряд з виробництвом сталі з чавуну впровадження способу переходу від руди до сталі, який обминає виробництво чавуну і називається **безчавунним виробництвом сталі**. При цьому спосіб варять із металізованих грудок.

Схему технологічної системи виробництва сталі з металізованих грудок зображено на рисунку 5.1.

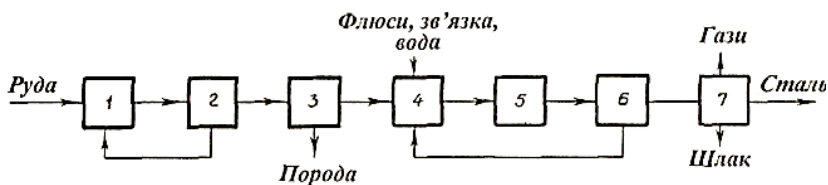


Рисунок 5.1 – Схема технологічної системи виробництва сталі з металізованих грудок

Система складається із семи елементів. В агрегатах цих елементів відбувається такі технологічні процеси: 1 – подрібнення руди; 2 – решетування (сортування за розмірами) руди; 3 – збагачення руди; 4 – виготовлення грудок із збагаченої руди; 5 – випалення грудок; 6 – сортування грудок за розмірами; 7 – варіння сталі.

Відомо понад 70 типів установок для виготовлення металізованих грудок. Проте лише деякі з них знайшли практичне застосування в металургії. Сировиною для виготовлення металізованих грудок є збагачена руда, вугілля та флюси. Металізують грудки в стовбурних печах, печах із «псевдокиплячим шаром», різного типу установках тощо.

Схема будови установки для виготовлення металізованих грудок зображено на рисунку 5.2.

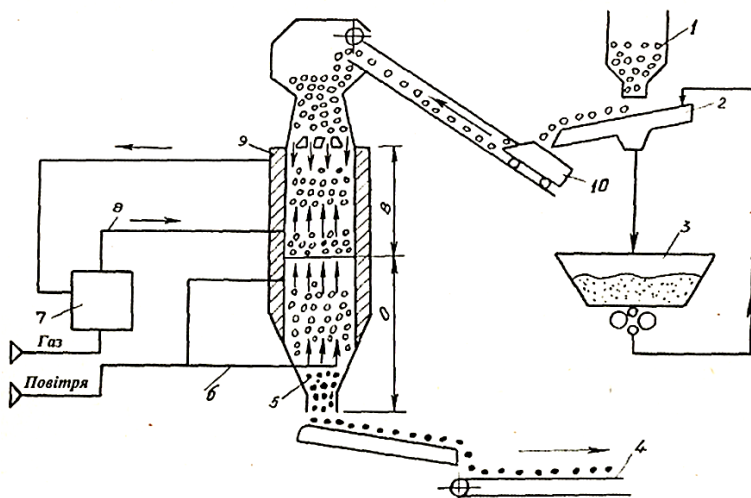


Рисунок 5.2 – Схема будови установки для виготовлення металізованих грудок

Виготовленні грудки з бункера 1 висипають на решета – для розділення за розмірами. Грудки, придатні для варіння сталі, збирають у ківш 10. Порошок, який обтрусився з грудок, зсипається в бункер 3, в нижній частині якого з нього виготовляють грудки, які подають на решето 2, а потім у ківш 10. Із ковша за допомогою піднімального механізму грудки висипають у стовбурну піч 9, яка працює за принципом зустрічних потоків: згори вниз рухаються грудки, а знизу вгору – теплові потоки відновних газів (H_2 і CO), які утворились у пристрої 7 із суміші природного та викидного газів. Гази надходять до

печі трубою 8. *Піч поділена на дві зони: відновлення (В) та охолодження (О).*

У зоні відновлення температура становить 1000...1100°C. За цієї температури відновні гази (H_2 і CO) відновлюють сполуки заліза в грудках.

У результаті утворюється «губчасте» залізо. Вміст заліза у відновлених грудках становить 90...95%. Після відновлення грудки надходять у зону охолодження, де за допомогою холодного повітря, яке подають трубою 6, охолоджуються. Охолоджені грудки 5 конвеєром 4 надходять до електричної печі, де з них варять сталь.

Рафінування сталі. Сталь, отримана у кисневих конвертерах, мартенівських печах і навіть великих дугових електропечах, не завжди задовольняє вимоги машинобудівників. Причина – мала якість або велика собівартість. Якість сталі позначається на механічних властивостях та корозійній стійкості виробів, виготовлених з неї. Саме тому таку велику увагу приділяють очищенню сталі від домішок (фосфору, сірки, азоту, кисню, водню тощо), тобто рафінуванню.

Рафінуванням (від франц. «raffiner» – очищати) називають очищення сталі від домішок, які погіршують її властивості. Очищати сталь можна в сталеварних агрегатах і поза ними. Як бачимо це два шляхи рафінування сталі. Кожний із них по-різному впливає на техніко-економічні показники сталеварних агрегатів.

У процесі рафінування розплавленої сталі її:

- вакуумують,
- продувають інертними газами,
- перемішують із синтетичними флюсами тощо,
- тверду сталь переплавляють електрошлаковим, вакуумно-дуговим, вакуумно-індукційним способами тощо.

Вакуумування сталі. Після закінчення варіння сталь випущена у ківш продовжує вбирати гази з довкілля (у даному випадку це атмосфера цеху). Отже, щоб ізолювати сталь від дії атмосфери, а також зменшити кількість домішок, розчинених у ній, сталь вакуумують. Вакуумування проводять кількома способами.

1. Об'ємне вакуумування. При цьому способі ківш зі сталлю переносять у вакуумну камеру, де за допомогою потужних pomp зменшують тиск до 65...150 Па. Із розплаву, де тиск газів значно

вищий, ніж над розплавом, гази виходять у камеру, звідки їх випомповують. Унаслідок такої операції в розплаві зменшується кількість кисню, азоту, водню тощо. Наприклад, за 15 хв. перебування розплаву у вакуумній камері кількість водню в сталі зменшується на 40 %.

2. Порційне вакуумування. На відміну від попереднього способу, де одночасно вакуумують цілий ківш розплаву, у процесі порційного рафінування вакуумують лише невеликі порції сталі. Схема порційного вакуумування зображена на рисунку 5.3. Над ковшем 3, заповненим розплавленою сталлю 4, ставлять камеру 1. У камері за допомогою pomp створюється вакуум, як і в разі попереднього способу.

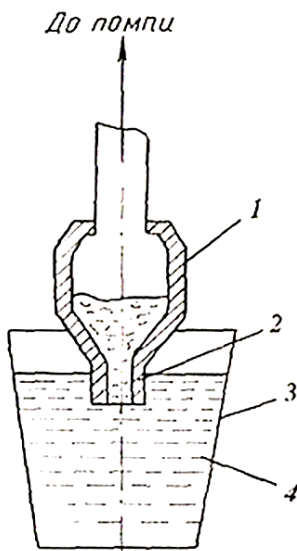
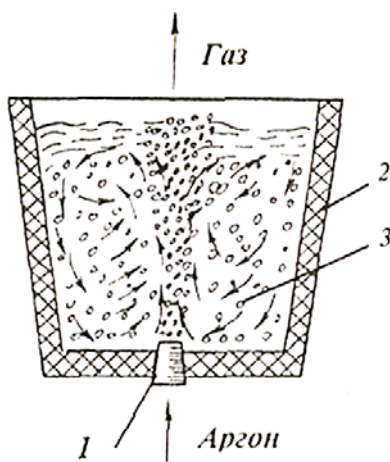


Рисунок 5.3 – Схема порційного вакуумування

Під дією атмосферного тиску розплав через патрубок 2, який з'єднує камеру з ковшем, виштовхується в камеру, де й проходить дегазацію. Наступна операція: камеру піднімають і порція дегазованого розплаву повертається в ківш, а камера займає попереднє положення, і так по чергово.

Продування розплавленої сталі інертним газом. З усіх інертних газів у металургії найчастіше застосовують аргон, яким продувають розплавлену сталь. Схему продування розплавленої сталі аргоном зображено на рисунку 5.4. Перемішуючи розплав, аргон сприяє прискоренню хімічних реакцій, виведенню газів і неметалевих включень з розплаву на його поверхню. Бульбашки аргону в розплаві завжди рухаються знизу вгору. Кисень і водень проникають у бульбашки аргону і разом виходять на поверхню розплаву, а потім в атмосферу.



1 – подання аргону; 2 – ківш; 3 – розплав.

Рисунок 5.4 – Схема продування розплавленої сталі аргоном

На очищення 1 т сталі витрачається 1 м³ аргону. Звичайно собівартість сталі зростає, але поліпшується якість. Вміст кисню в сталі після аргоновання зменшується в 1,5 рази. Шляхи продування розплаву різні: через фурми, вставлені в розплав, або через пористе днище чи з боку.

Перемішування сталі з синтетичними флюсами. Цей спосіб очищення сталі широко використовують на металургійних заводах. Флюси виплавляють в електричних печах. Основними складниками флюсів є CaO (55 %) і Al₂O₃ (40 %), решта SiO₂, MgO і FeO. Флюси нагрівають до температури 1650...1700 °С і виливають у ківш, який

підставляють до сталеварного агрегату. Сталь потужним струменем летить в ківш, перемішується з флюсами. Складові флюсів взаємодіють з домішками, які є у сталі й утворені продукти реакції спливають на поверхню розплаву. Внаслідок такого способу очищення розплаву вміст сірки в сталі зменшується вдвічі, а час сталеваріння скорочується. Так, варіння сталі в дуговій печі скорочується на 30...50 хв., що приводить до економії електроенергії, зниження собівартості сталі.

Цим способом рафінують мартенівську сталь і сталі, отримані в електропечах. Суть цього способу полягає у тому, що зі сталі, яку треба очистити від домішок, виготовляють вальцюванням або литтям електрод 1, який закріплюють в електродотримачі над охолоджуванім водою кристалізатором 2. До початку процесу на дно кристалізатора кладуть затравку 6, насипають шар флюсів (99 % CaF_2 , решта Al і кальцієва селітра) і вмикають струм. Між електродом і затравкою виникає електрична дуга, теплота якої й розплавляє флюси. У разі досягнення певної товщини розплавлених флюсів дуга гасне. Струм, який проходить через флюси, нагріває їх до температури 2000 °С.

Електрошлакове переплавлення сталі. Схема установки для електрошлакового переплавлення сталі зображена на рисунку 5.5.

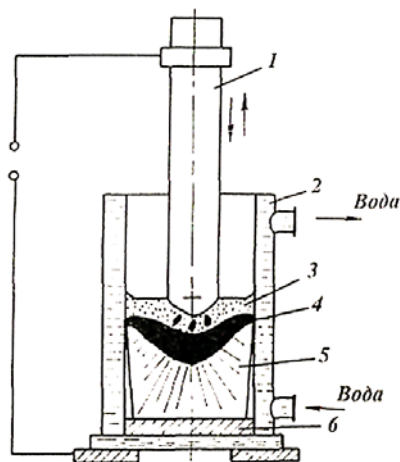


Рисунок 5.5 – Схема установки для електрошлакового переплавлення сталі

У нагрітому шарі флюсів 3 сталевий електрод 1 плавиться. Розплавлена сталь проходить через шар флюсів, очищається від домішок 4 і надходить до охолоджуваного водою кристалізатора, де формується у вигляді вилівка 5 круглої, квадратної чи іншої форми. Маса вилівка досягає 110 т. Шар шлаку, який утворився в процесі очищення сталі, захищає очищений метал від окиснення. Одночасно переплавляють кілька електродів.

Отримані вилівки не містять дефектів ліквіації, мають гладку поверхню, однорідну щільну мікроструктуру та велику якість: вміст кисню у вилівку зменшується у 1,5...2 рази, сірки у 2...3 рази, зменшується вміст неметалевих включень. Обладнання просте, надійне. Очищену сталь використовують для виготовлення лопатей турбін, валків, компресорів тощо.

Вакуумно-дугове переплавлення сталі. Щоб очистити сталь від газів та неметалевих включень її переплавляють у вакуумних дугових печах, які працюють на постійному струмі (рис.5.6).

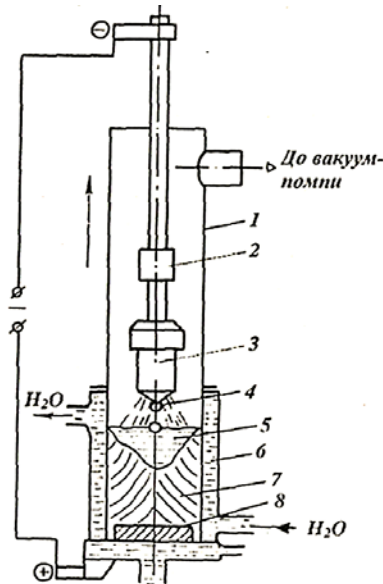


Рисунок 5.5 – Схема вакуумно-дугового переплавлення сталі

Електроди виготовляють зі сталі, виплавленої в мартенівських печах. Електрод 3, який кріплять до охолоджуваного водою штока 2, виконує роль катода, анодом є затравка 8, а потім очищений виливок, який перебуває в тиглі 6, охолоджуваному водою. Між катодом і анодом виникає електрична дуга. Електрод розплавляється і краплями 4 стікає у тигель з розплавом 5, де застигає у вигляді виливка 7. Оскільки піч 1 вакуумована, то гази та неметалеві включення виходять з розплаву.

Довговічність виробів, виготовлених з очищеної цим способом сталі, збільшується в 1,5...2,5 рази. Корозійостійкість сталі у водному розчині, який містить 3 % NaCl, збільшується вдвічі. Поліпшується структура виливка.

ТЕМА 6. МІДЬ ТА ЇЇ СПЛАВИ

Мідь здавна ввійшла у життя людей, оскільки перебуває в природі у вільному стані. Знайдено кусок чистої міді масою 420 т. Чиста мідь червоного кольору; плавиться за температури 1083 °С; її густина дорівнює 8940 кг/м³; вона майже у 2 рази м'якша від заліза; має велику електро- та теплопровідність.

У земній корі мідь перебуває у вигляді сульфідних і рідше оксидних руд. У сульфідних рудах мідь міститься в сполуках CuS, Cu₂S, а в оксидних – в Cu₂O. Понад 80 % міді виробляють із сульфідних руд. Найпоширенішою рудою є халькопірит (від грецьк. «халько» – мідь і «пірит» – обпалений вогнем) – мінерал класу сульфідів, латунно-жовтого кольору з металевим блиском. У цій руді мідь міститься в сполучі CuFeS₂.

Середній вміст міді в промислових рудах – 1...2 %, мінімальний – 0,5 %; руди, які містять > 3 % міді, вважаються багатими. У мідних рудах містяться також інші кольорові метали (Au, Ag, Zn та ін.) та порода, яка складається з глинозему, вапняків, алюмосилікатів.

Мідь виробляють піро- та гідрометалургійним способами. Основним є пірометалургійний. Цим способом отримують 90 % міді.

Пірометалургійний спосіб виробництва міді.

Спрощена схема технологічної системи пірометалургійного способу виробництва міді зображена на рисунку 6.1.

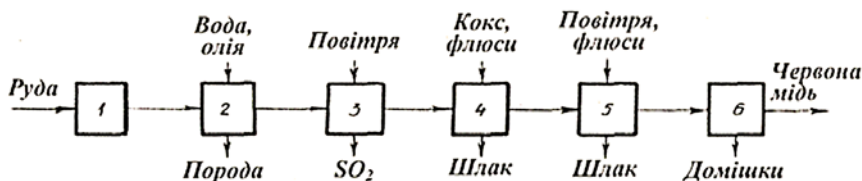


Рисунок 6.1 – Спрощена схема технологічної системи пірометалургійного способу виробництва міді

Вона складається з окремих 6 елементів, складовим яких є обладнання та технологічні операції. До обладнання належать млини, флотажна машина, печі різного типу, горизонтальний конвертер,

електролізери. В обладнанні відбуваються такі технологічні процеси як подрібнення, збагачення, випалювання, плавлення та рафінування.

Елемент 1. Видобута руда надходить до кульового млина для подрібнення (елемент 1). У млині відбуваються фізико–механічні процеси, в наслідок яких великі куски перетворюються на малі – розміром 0,05...0,5 мм.

Елемент 2. Оскільки мідні руди містять мізерну кількість міді, то їх збагачують доводячи концентрацію міді в руді до 10...35 %. Руди збагачують у флотаційних машинах (елемент 2).

Елемент 3. Щоб зменшити вміст сірки, окиснити домішки і висушити концентрат його випалюють. Випалювання проводять у багаточеренових печах та в печах з «псевдокиплячим шаром» (елемент 3). Це печі безперервної дії.

Багаточеренова піч – це стовбурна піч висотою до 11 м, діаметром 6,5...7,5 м. Схема будови багаточеренової печі зображено на рисунку 6.2.

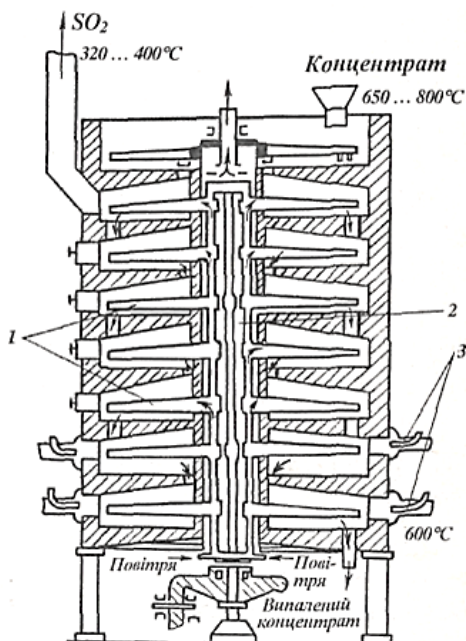


Рисунок 6.2 – Схема будови багаточеренової печі

Піч з «псевдокиплячим шаром». Випалюють концентрат і у печах із «псевдокиплячим шаром» (рис. 6.3). Така піч, як і багаточеренева, працює на принципі зустрічних потоків. За допомогою форсунок 3 до печі подають паливо. Концентрат через отвір 1 потрапляє на черинь печі. Під тиском повітря, яке подають через отвір 2, концентрат з череня печі піднімається вгору і в камері печі 4 підтримується в завислому стані.

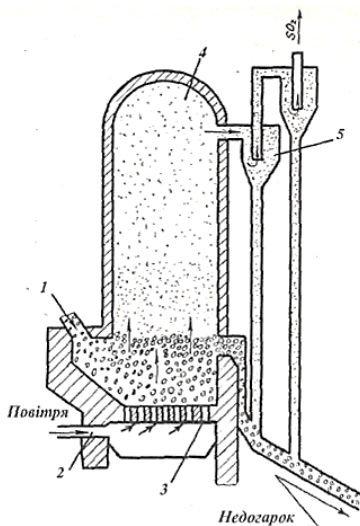


Рисунок 6.3 – Схема будови печі з «псевдокиплячим шаром»

Температура в печі становить 600...700 °С. Частинки концентрату ніби киплять, і кожній із них забезпечується найкращий контакт із газами, які містять кисень. Газоподібні продукти реакції після очищення від пилу у циклонах 5 ідуть на виробництво сірчаної кислоти, а недогарок, що складається з оксидів заліза, частково міді та інших металів, – на виробництво штейну (від нім. «stein» – камінь). Продуктивність цих печей у кілька разів більша ніж багаточерених.

Концентрат подають на верхній черинь печі, з якого його за допомогою механічних перегрівачів 1, які кріпляться до обертового валу 2, згрібають на нижній черинь і т. д. За допомогою форсунок 3 у піч подають паливо. Продуктивність такої печі невисока – 300 т шихти за добу. З печі разом із SO_2 і пилом виноситься до 0,5 % міді.

Елемент 4 (див. рис. 6.1). Щоб відокремити сполуки із сіркою від сполук із киснем отриманий недогарок перепплавляють у відбивних печах, які за конструкцією подібні до мартенівських, або до електричних печей (елемент 4). У полуменевих печах використовують найдешевші види палива: мазут та ін. Температура в зоні плавлення становить 1450 °С. Шихта складається з випаленого концентрату, коксу та флюсів (піску). У процесі плавлення шихти на черені печі збирається *штейн* – розплав, який складається з 20...50% міді, 20...40 % заліза, 22...25 % сірки, до 8 % кисню і домішок (золото, срібло, свинець, цинк тощо). Зверху штейн прикритий шаром шлаку. Отриманий штейн є сировиною для виробництва чорнової міді.

Елемент 5 (див. рис. 6.1). Для виробництва чорнової міді необхідно мати: штейн, кварцовий пісок (флюси), повітря, кисень і обладнання – горизонтальний конвертер.

Горизонтальний конвертер. Конвертер (елемент 5) викладено вогнетривкою цеглою, його довжина 6...10 м. Схему будови горизонтального конвертеру зображено на рисунку 6.4. Зовнішній діаметр 3...4 м. По твірній поверхні конвертера розташовані фурми 2, через які подають до конвертера повітря, збагачене киснем (тиск дорівнює 0,075...0,125 МПа). Кількість фурм може бути до 60.

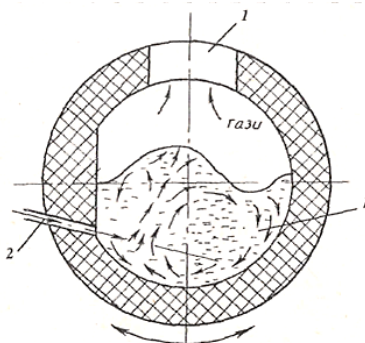


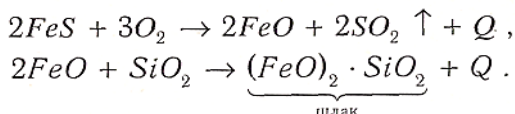
Рисунок 6.4 – Схема будови горизонтального конвертеру

Для полегшення завантаження шихтою та виливання чорнової міді та шлаку конвертер нахилиють. Отже до конвертера через отвір 1 завантажують шихту, яку продувають повітрям. Температура

розплаву (1200 °C) підтримується за рахунок теплоти, яка виділяється під час хімічних реакцій, що відбуваються в розплаві 3.

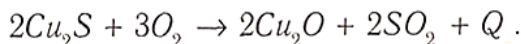
Штейн на чорнову мідь переплавляють у два заходи.

У першому заході окиснюється сульфід заліза й офлюсується оксид заліза:

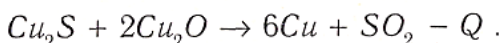


Утворений шлак зливають.

У другому заході окиснюється сульфід міді:



Одночасно оксид міді взаємодіє із сульфідом, який ще міститься в розплаві:



Чорнова мідь містить 98,5...99,5 % міді, решта – залізо, сірка, арсен, кисень, благородні метали тощо.

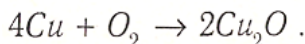
Оксид сірки (SO₂) після очищення використовують для виробництва сірки або сірчаної кислоти.

Елемент 6 (див. рис. 6.1). Отриману в конвертері (елемент 5) мідь рафінують в елементі 6, оскільки вона містить домішки, які погіршують її властивості.

Рафінування проводять вогневим і електролізним способами.

Вогневе рафінування міді. За цим способом розплавлену чорнову мідь завантажують у полуменеву піч об'ємом до 400 т і продувають повітрям. При цьому цинк, свинець та інші домішки окиснюються легше, ніж мідь. Утворені оксиди (ZnO, PbO тощо) виходять разом із димовим газом. Оксиди заліза, алюмінію та інших металів переходять у шлак, благородні метали (Au, Ag) не окиснюються, а залишаються в розплаві.

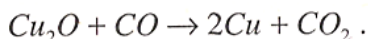
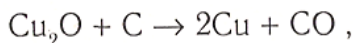
Під час повітряного дуття частково окиснюється мідь:



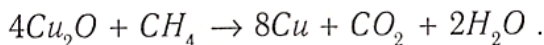
Цей період називають **періодом окиснення**.

Після періоду окиснення починається **період відновлення міді з оксидів і дегазація розплаву**. Для цього шлак зливають, на

поверхню розплаву наносять шар деревного вугілля, щоб запобігти окисненню міді, і перемішують розплав сирими дерев'яними жердинами. Під час перемішування з розплаву виділяються водяна пара та газ. Деревне вугілля й обвуглені жердини використовують для відновлення міді:



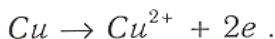
Для економії деревини на деяких заводах мідь розкиснюють природним газом:



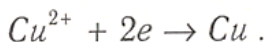
Мідь, рафінована вогневим способом, має чистоту 99,5...99,7 %, її використовують для виготовлення сплавів (бронзи, латуней).

Електролізне рафінування міді. Електролізним рафінуванням отримують дуже чисту мідь (99,92...99,96 % вмісту міді). Рафінують мідь в електролізерах, виготовлених із бетону або деревини, зсередини викладених вініпластом, свинцем або іншим кислотостійким матеріалом. Електроліт складається із сірчанокислої міді (CuSO_4) та сірчаної кислоти (H_2SO_4). Електроди виготовляють із міді: аноди з чорнової, катоди з електролізної. Товщина анодів дорівнює 40...50 мм, а катодів – 0,5...0,7 мм. У ванну поміщають непарну кількість електродів (наприклад, 50 анодів і 51 катод).

Під час проходження постійного електричного струму між катодом і анодом анод поступово розчиняється й мідь у вигляді позитивних іонів переходить у розчин:



У розчин переходять також такі метали, як цинк, нікель, залізо, стибій тощо. Золото та срібло у розчин не переходять, а випадають у вигляді шламу. На катоді осідає чиста мідь:



Отже, анод розчиняється і його розміри зменшуються, розміри катода, навпаки, збільшуються. Електроліт забруднюється як домішками, що перейшли у розчин, так і міддю; його періодично замінюють на свіжий.

Із шламу отримують золото та срібло. У процесі електролізного рафінування міді з 1 т чорної міді вилучають до 7 кг срібла та 50...300 г золота, що робить мідь дешевшою.

Процес рафінування міді триває безперервно. Розчинені аноди через 20...30 діб замінюють на нові. Катоди в разі досягнення ними маси 150 кг через 10...15 діб також замінюють на нові. Після промивання водою катоди переплавляють в електричних печах.

У цеху встановлюють велику кількість ванн. Електроліт, підігрітий до температури 50...60 °С циркулює через усі ванни. Напруга на ваннах витримується в межах 0,2...0,26 В. Відпрацьований електроліт відновлюють (регенерують). На виробництво 1 т катодної міді витрачається 175...400 кВт•год. електроенергії. Вихід за струмом становить 90...94 %.

Шляхи вдосконалення виробництва міді. Виробництво міді потребує великих енергетичних затрат. Для зменшення їх, а також повнішого використання сировини і зменшення забруднення довкілля вдосконалюють технологію отримання міді:

- замінюють полуменеві печі на дугові електричні (зменшує витрати палива та флюсів; розплав повніше очищається від домішок; виділяється менше шкідливих газів);
- запроваджують кизцетний спосіб виробництва міді;
- вилучають отримання штейну.

Кизцетний спосіб виробництва міді – це давня мрія металургів про агрегат, в якому були б суміщені всі технологічні операції від завантаження шихти до випускання готової продукції. Цей спосіб не потребує попереднього випалювання концентрату. Його лише підсушують у вертикальних трубах–сушарнях. Суху шихту вдувають в агрегат разом з киснем. В процесі згоряння сірки утворюється SO_2 і виділяється велика кількість теплоти. Шихта плавиться. Концентрат в агрегат вдувають зі швидкістю 100 м/с. У середині печі закручується ураганний вихор – циклон. У цьому вихорі всі процеси плавлення відбуваються з величезною швидкістю.

Отримання штейну потребує великої кількості палива, щоб уникнути цих витрат сухий концентрат вдувають разом із киснем у розплав, який міститься у вертикальному конвертері. У процесі хімічних реакцій виділяється велика кількість теплоти, що дає змогу переплавляти у конвертері мідний скрап. Цей захід вилучає отримання штейну і всі операції, пов'язані з цим.

ТЕМА 7. АЛЮМІНІЙ ТА ЙОГО СПЛАВИ

Чистий алюміній – це метал сріблясто–білого кольору, малої густини (2700 кг/м^3), низької температури плавлення ($660 \text{ }^\circ\text{C}$), має велику тепло-, електропровідність та корозійну стійкість в агресивних середовищах.

За електричною провідністю алюміній посідає 4–те місце після Ag, Cu, Au. Алюміній надзвичайно активний відносно кисню. Його використовують для розкиснення сталі. За кількістю отримання та використання алюміній і сплави на його основі посідають друге місце після сталі.

Швидкий розвиток виробництва алюмінію зумовлений його чудовими властивостями:

- великою міцністю;
- малою густиною;
- великою пластичністю;
- він добре з'єднується з різними конструкційними матеріалами зварюванням, паянням;
- має велику корозієстійкість.

Найпоширеніший метал земної кори (після кисню і кремнію) становить приблизно 8 % від маси земної кори. Алюміній і сплави на його основі використовують в електротехніці, будівництві, хімічному та харчовому машинобудуванні, літакобудуванні та космічній техніці.

Алюміній виробляють із бокситів, нефелінів, алунітів тощо.

Основною сировиною є боксити, які складаються з 50...60 % глинозему, 1...5 % кремнезему, 2...25 % оксиду заліза, 2...4 % оксиду титану, 10...30 % води.

У цьому мінералі алюміній міститься у вигляді сполук $\text{Al}(\text{OH})_3$, AlOOH , Al_2O_3 , $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Якість бокситів визначається вмістом в них оксиду алюмінію та кремнезему. Якісні боксити містять 50...60 % оксиду алюмінію та не більше 0,2 % SiO_2 і 0,4 % Fe_2O_3 .

Алюміній виробляють у два заходи: спочатку отримують із бокситів глинозем, а потім з глинозему алюміній.

Способи отримання глинозему. Глинозем оброблюють трьома способами:

1. Електротермічні способи. Суть їх полягає у відновленні в електропечі сполук алюмінію, які містяться у мінералі. Отриманий таким чином глинозем непридатний для вироблення алюмінію. Його використовують для виготовлення шліфувальних кругів та інших абразивних виробів.

2. Кислотні способи. При цих способах алюмінієві мінерали обробляють соляною або сірчаною кислотою. У процесі взаємодії утворюються солі, наприклад хлористий алюміній у випадку взаємодії алюмінієвих мінералів із соляною кислотою. Такі способи виробництва глинозему використовують дуже рідко.

3. Лужні способи. Це економічно вигідніші способи, оскільки мінерали обробляють лугами, а обладнання виготовляють із дешевих вуглецевих сталей і чавунів.

Отримують глинозем двома способами:

1. способом спікання

2. способом Баєра. На сьогоднішній день близько 95 % світового глинозему виробляють із бокситів за способом Баєра, оскільки він дешевший ніж спосіб спікання.

Виробництво алюмінію. Виробництво алюмінію є складним і потребує великої кількості електричної енергії.

Технологічна система виробництва алюмінію складається з чотирьох самостійних підсистем:

- виробництво глинозему,
- кріоліту,
- електродної маси
- алюмінію з глинозему.

Схему технологічної системи виробництва алюмінію за способом Баєра можна подати у вигляді 8–ми елементів (див. рис. 7.1), структурними складовими яких є обладнання та технологічні процеси, які відбуваються в ньому або за його допомогою.

Боксити сушать у печах (елемент 1), мелють у кульових млинах (елемент 2) із додаванням луґу (NaOH). Після розмелення до бокситів додають концентрований розчин луґу (NaOH) для перетворення гідрату оксиду алюмінію в алюмінат натрію.

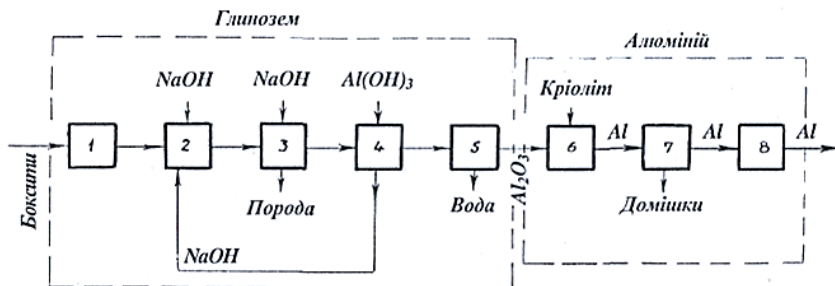
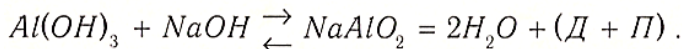
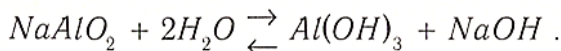


Рисунок 7.1 – Схема технологічної системи виробництва алюмінію за способом Баєра

Це відбувається в автоклавах (елемент 3) за температури 105...250 °С. Нагрівають і перемішують пульпу за допомогою пари, яку подають під тиском через сопло в днищі автоклава. У процесі взаємодії гідрату оксиду алюмінію з лугом утворюється алюмінат натрію (NaAlO_2):



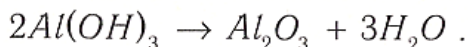
Алюмінат натрію розчиняється у воді, а домішки (Д) та порода (П) випадають в осад, їх відфільтровують. Чим більше кремнезему міститься в бокситах, тим більше луку треба для очищення розчину. Профільтрований розчин алюмінату натрію подають до випарника (елемент 4). Температуру розчину знижують до 45 °С. Протягом 50...70 год. розчин перемішують. За цих умов утворюються кристали гідрату оксиду алюмінію ($\text{Al}(\text{OH})_3$) і розчин луку (NaOH):



Щоб прискорити процес розпаду алюмінату натрію до розчину додають дрібні кристали $\text{Al}(\text{OH})_3$, які виконують роль центрів кристалізації, навколо яких ростуть кристали. Отримані великі кристали $\text{Al}(\text{OH})_3$ після промивання передають до наступного елемента 5. Луг очищають і подають до кулькових млинів для мокрого розмелювання бокситів.

Наступним елементом системи є трубова обертова піч або піч із «псевдокиплячим шаром», у якій кальцинується гідрат оксиду

алюмінію (елемент 5) для отримання оксиду алюмінію – глинозему. Кальцинацію проводять за температури 1200 °С:



Отриманий глинозем (Al_2O_3) містить домішки F_2O_3 , SiO_2 тощо. Для виробництва 1 т глинозему необхідно розмолоти 2...2,5 т бокситів, витратити 70...90 кг $NaOH$, 7...9 т водяної пари, 160...180 кг мазуту (у перерахунку на умовне паливо) і близько 280 кВт•год електроенергії.

Алюміній отримують електролізом глинозему, розчиненого в розплавленому кріоліті (Na_3AlF_6). Сюди ж додають AlF_3 і NaF . Процес відбувається в електролізері (елемент 6).

Схему електролізера зображена на рисунку 7.2.

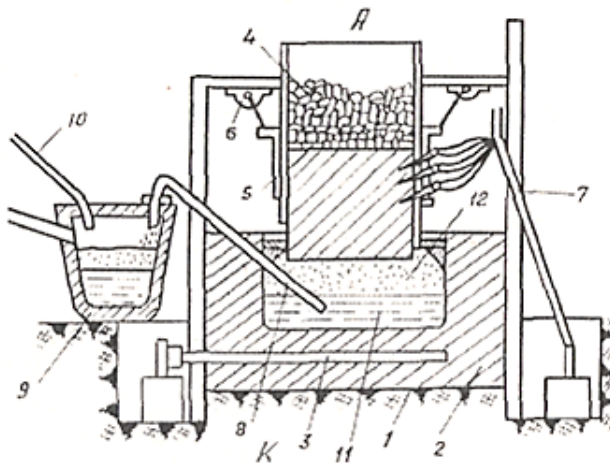


Рисунок 7.2 – Схема електролізера

Ванна електролізера окута сталлю 1, у середині вкладає вуглецевими блоками 2. До піддона ванни за допомогою мідних шин 3 підведено електричний струм. Отже, вуглецевий піддон служить катодом. Анод виготовлений із вуглецевої маси 4. Нижня частина анода занурена в електроліт 12. У процесі електролізу анод згоряє в атмосфері кисню і його нарощують сумішшю, яка складається з нафтового або смоляного коксу і кам'яновугільної смоли. У верхніх

шарах анодної суміші температура становить 100...140 °С, а в нижніх – 360 °С. За допомогою сталевих штирів 7 до анода підведено струм. Напруга на електродах становить 4...4,5 В.

Перед початком процесу ванну прогрівають і поступово завантажують кріоліт. Коли товщина шару розплавленого кріоліту досягне 200...300 мм, у ванну засипають глинозем (10...15 % маси кріоліту). Під час проходження струму між анодом і катодом розплав нагрівається до температури 950...1000 °С.

Кріоліт і глинозем дисоціюють: на катоді розряджаються іони Al^{3+} й утворюється алюміній, а на аноді іони O^{2-} , які окиснюють вуглець аноду до CO і CO_2 . Газові продукти реакції за допомогою вентиляції виводять з ванни.

На дні ванни збирається розплавлений алюміній 11, який періодично випомповують трубкою 8 до вакуумного ковша 9, під'єданого до вакуумної помпи за допомогою трубки 10. Ванна працює безперервно протягом 2...3 років.

Витрати для виробництва 1 т алюмінію:

- 2 т глинозему,
- 0,7 т анодної суміші,
- 0,1 т кріоліту,
- 16...18 МВт•год електроенергії.

Затрати на електроенергію становлять 30 % собівартості алюмінію, 50 % припадає на сировину. Отже, щоб зменшити собівартість алюмінію, потрібно раціонально використовувати сировину та електроенергію.

Отриманий алюміній називають первинним. Він містить домішки заліза, кремнію, частинки глинозему, кріоліту та газу, а це все погіршує його властивості.

Рафінування алюмінію. Щоб зменшити кількість домішок, первинний алюміній рафінують. Рафінування проводять продуванням розплавленого алюмінію хлором; електролізом; зонним переплавленням тощо.

Продування розплаву первинного алюмінію хлором. При цьому способі очищення алюмінію від домішок розплавлений алюміній продувають хлором протягом 10...15 хв. Для цього розплав нагрівають до 650...770 °С. За цих умов утворюється хлористий алюміній – газ ($AlCl_3$). Хлористий алюміній у вигляді бульбашок виходить з розплаву і сприяє виведенню з нього частинок глинозему,

кріоліту та газів. Після продування розплаву хлором його відстоюють 45 хв. Внаслідок такого рафінування втрачається до 1 % алюмінію. Отриманий алюміній містить 0,15...0,5 % домішок. Його розливають у виливниці.

Електролізний спосіб рафінування. Використовують для отримання дуже чистого алюмінію. Анод виготовляють з первинного алюмінію або з алюмінію, рафінованого хлором. Катод виготовляють з чистого алюмінію у вигляді пластин. Електролітом є розплави хлористих і фтористих солей.

Зонне переплавлення. Для отримання алюмінію особливої чистоти використовують зонне переплавлення. У процесі очищення за цим способом виливок алюмінію поміщають у графітовий човник, а все разом – у кварцову трубку, всередині якої є вакуум. Зовні вздовж трубки повільно зі швидкістю $0,000166 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ рухається вузький нагрівач. Це може бути один виток високочастотного індуктора, за допомогою якого у виливку створюється вузька (25...30 мм) розплавлена зона.

Зонне переплавлення проводять в одному напрямі 10...15 разів підряд. Найчистішою є середня частина виливка, крайні частини забруднені, з одного боку, елементами Be, Ca, Cu, Pb, Cd, Sb тощо, з іншого – Cr, Mo, Ti, V, W. Після зонного переплавлення алюміній має особливу чистоту. Його вміст становить 99,9999% алюмінію.

ТЕМА 8. ВИРОБНИЦТВО ТИТАНУ ТА ЙОГО СПЛАВІВ

Властивості титану та його сплавів. Титан за поширенням у земній корі посідає четверте місце після алюмінію, заліза й магнію. Завдяки високій питомій міцності, жаротривкості та корозійній стійкості титан широко застосовується у провідних галузях промисловості.

Титан – метал сріблясто-білого кольору з густиною $\gamma = 4505 \text{ кг/м}^3$ і температурою плавлення $t_{\text{п}} = 1668 \text{ }^\circ\text{C}$. Розрізняють дві поліморфні модифікації титану – низькотемпературну (α) і високотемпературну (β).

α -титан має гексагональну щільно упаковану комірку. При температурі $882 \text{ }^\circ\text{C}$ α -титан перетворюється в β -титан з кубічною гранецентрованою ґраткою. Титан легко обробляється тиском, добре з'єднується дуговим й контактним електричним зварюванням, проте погано обробляється різанням. Міцність титану можна істотно підвищити пластичною деформацією (наклепом). Для того щоб зняти наклеп, використовують рекристалізаційний відпал при температурах $650...750 \text{ }^\circ\text{C}$.

Отримання титану та його сплавів. Промисловий спосіб добування титану був розроблений лише у 40-х рр. XX століття. Промисловий видобуток титану переважно проводиться з ільменіту (FeTiO_3 вміст 31,6 % Ti) і рутилу (TiO_2 вміст 60% Ti). В ільменітах і рутилах присутні ванадій, скандій, тантал і ніобій. Вилучення ільменіту з титаномagnetиту можливе, якщо розмір зерен ільменіту переважає 0,3 мм. Частково титан вилучається з лейкоксену (у лейкоксені по ільменіту 96 %, по сфену 67 % TiO_2), анатазу (поліморфної модифікації TiO_2) і лопариту (Na, Ce) TiO_3 (26,6 % Ti). Важливими мінералами є також перовськіт, титаніт, ільменорутит.

Титан асоціюється з лужними металами, кальцієм, ванадієм, хромом, кремнієм, манганом, фосфором, оловом, ураном, ітрієм та ін.

В основі технології виробництва титану лежить процес Кроля – отримання титану магнієтермічним відновленням тетрахлориду титану з наступною вакуумної дистиляцією. Частина титану губчастого використовується в якості сировини для виробництва

злитків і слябів з титану та титанових сплавів, решта титану губчастого реалізується споживачам в якості товарної продукції.

Технологічна схема виробництва титану включає наступні основні переділи:

- отримання титанового шлаку методом плавки ільменітового концентрату в руднотермічних печах;
- отримання титановмісної шихти;
- отримання технічного тетрахлориду титану;
- ректифікаційна очистка технічного тетрахлориду титану;
- отримання магнію–відновника методом електролізу хлористого магнію;
- відновлення титану з тетрахлориду титану магнієм з отриманням реакційної маси;
- вакуумна сепарація реакційної маси;
- переробка блоків титану губчастого;
- виплавка титанових злитків і слябів.

Отримання титанового шлаку методом плавки ільменітового концентрату в руднотермічних печах. Виробництво титанового шлаку складається з відновлюваної руднотермічної електроплавці ільменітового концентрату з вмістом TiO_2 не менше 63 % спільно з вуглецевим відновником – вугіллям, коксом або антрацитом. Процес плавки ільменітового концентрату і вуглецевого відновника, попередньо подрібненого до розміру шматків не більше 10 мм, проводять в руднотермічних печах при температурі 1650...1800 °С. Отриманий шлак зливають і після охолодження направляють на підготовку титановмісної шихти. Утворений в результаті плавки метал (чавун з підвищеним вмістом титану) вивозиться на склад для реалізації споживачеві. Газові випаровування з руднотермічних печей направляються на газоочистку.

Отримання титановмісної шихти. Титановмісну шихту отримують методом змішування меленого титанового шлаку, вуглецевого відновника та хлористого натрію. Перед змішуванням титановий шлак і вуглецевий відновник дроблять та мелють. Підготовлена титановмісна шихта передається на ділянку хлорування для виробництва тетрахорду титану.

Отримання технічного тетрахлориду титану. Тетрахлорид титану технічний утворюється при хлоруванні титановмісної шихти в розплаві солей в сольовому хлораторі та

конденсації, що виходить з хлоратора парогазової суміші в системі апаратів конденсації. Процес хлорування титановмісної шихти ведеться в сольовому хлоратори. Газові випаровування з сольового хлоратора направляються на газоочистку.

Сольовий хлоратор – апарат безперервної дії. На поверхню сольового розплаву шнеком з витратного бункера безперервно завантажується титановмісна шихта. Через бічні фурми хлоратора, розташовані в нижній його частині, в розплав подається хлор–газ. З хлоратора виводяться два матеріали – парогазова суміш продуктів хлорування та відпрацьований розплав. Відпрацьований розплав виводиться з хлоратора періодично та частково, а після охолодження вивозиться на відвальне господарство підприємства. Парогазова суміш виводиться з хлоратора безперервно та надходить в систему апаратів очищення та конденсації технічного тетрахлориду титану. Апарати очищення парогазової суміші: камера пилова, зрошувальний скруббер. Апарати конденсації технічного тетрахлориду титану: два послідовно встановлених зрошувальних конденсатора, де в процесі охолодження відбувається конденсація технічного тетрахлориду титану. Отриманий технічний тетрахлорид титану, після відстоювання, направляється на ділянку ректифікації для очищення.

Ректифікаційне очищення технічного тетрахлориду титану. Технічний тетрахлорид титану підлягає очищенню від ванадію, а також від низько– та висококиплячих домішок. Очищення від ванадію проводиться нижчими хлоридами титану в кубі колони першої дистиляції. Процес ректифікації включає в себе очищення тетрахлориду титану від низькокиплячих домішок – перша ректифікація, та від висококиплячих домішок – друга ректифікація. Процес ведеться в колонах ректифікації при температурі 120...142 °С. В процесі ректифікаційного очищення тетрахлориду титану в кубах–випарниках збираються кубові залишки, які періодично виводяться з кубів, випаровуються в електричній печі випарювання пульп і обробляються негашеним вапном. В результаті утворюється кек, який містить ванадій, що реалізуються споживачу. Газові випаровування ректифікаційного очищення направляються на газоочистку.

Отримання магнію електролізом хлористого магнію. Магній одержують методом електролітичного розкладання розплаву хлористого (діхлорид) магнію в бездіафрагмених електролізерах. В електролізерах робочим розплавом є хлористий магній,

плавікошпатовий концентрат та кухонна сіль. В результаті процесу електролізу утворюється металевий магній, який після додаткового очищення направляється на відновлення титану, хлор-газ – направляється в сольовий хлоратор, а відходи: шлам і шламоелектролітна суміш – вивозяться на відвальне господарство підприємства або реалізуються споживачу. Газові випаровування з бездіафрагменних електролізерів направляються на газоочистку.

Відновлення титану з тетрахлориду титану магнієм з отриманням реакційної маси. Відновлення титану з тетрахлориду титану магнієм проводиться в апаратах відновлення. У підготовлений апарат відновлення заливається рідкий магній. Апарат з магнієм встановлюється в піч відновлення, в апарат подається тетрахлорид титану. В процесі взаємодії тетрахлориду титану з магнієм утворюється діхлорид магнію, який періодично зливається в ківш і направляється на електроліз для отримання магнію та реакційна маса, що складається з титану губчастого та залишкового магнію та діхлориду магнію. Після закінчення процесу відновлення апарат з реакційною масою відправляється на переділ сепарації

Вакуумна сепарація реакційної маси. Процес вакуумної сепарації реакційною маси здійснюється наступним чином. Апарат сепарації з реакційною масою встановлюють в піч сепарації. У період розігріву апарату сепарації проводиться витримка при температурі 850 °С. У міру розігріву апарату з реакційною масою в середовищі вакууму починається сублімація парів магнію і діхлориду магнію. Високотемпературна витримка при температурах 980...1020 °С починається після завершення періоду розігріву апарату. Пари магнію і діхлориду магнію конденсуються в зворотній реторті та використовуються, в подальшому, в наступному процесі відновлення. Час процесу визначається сортом реакційної маси та залишковим тиском в апараті. Після закінчення процесу сепарації відключаються нагрівачі печі, в апарат подається аргон. Апарат охолоджується спочатку в печі, а потім в холодильнику. Після охолодження апарат сепарації демонтують, а реторту з блоком титану губчастого направляють на переробку.

Переробка блоків титану губчастого. Переробка блоків титану губчастого полягає у виконанні наступних основних операцій:

- підрізання гарнісажу і вибивка блоку з реторти, з визначенням його якості;

- поділ блоку на складові частини – крицю і гарнісаж;
- очищення реторти від залишків титану губчастого;
- очищення криці від поверхневих забруднень з виділенням низькоякісних складових частин: низовий обруб, бічний обруб;
- визначення категорії якості криці і гарнісажу та поділ за категоріями для їх подальшої роздільної переробки;
- дроблення криці та гарнісажу на пресі та в дробарках;
- розсівання дробленого титану губчастого з виділенням товарних фракцій;
- сортування товарних фракцій титану губчастого з вилученням шматків з дефектами;
- відбір проб, упаковка в підготовлену тару (контейнери, бочки), зважування, маркування, пломбування.

Упакований титан губчастий комплектується в товарні партії відповідно до контрактів і відправляється споживачеві.

Виплавка титанових злитків і слябів. Частина виробленого титану губчастого використовується в якості сировини для виробництва злитків і слябів з технічно чистого титану і титанових сплавів. Титан губчастий попередньо брикетується, після чого брикети направляються на плавильну ділянку, де вони переплавляються в злитки або сляби на установці електронно-променевого переплаву. Надалі злитки і сляби направляються на механічну обробку (розпилювання, обточування, зняття фасок), піддаються контролю якості за хімічним складом, внутрішніми і зовнішніми дефектами. Готові злитки і сляби маркуються, упаковуються і відправляються споживачеві.

Сплави титану, крім основного металу й домішок, можуть містити легувальні елементи: алюміній, молібден, ванадій, хром, марганець, залізо, тантал, ніобій, цирконій, олово, мідь, вольфрам, кремній, нікель, свинець, берилій, кобальт, гафній, торій та ін. Вони утворюють з титаном тверді розчини заміщення або інтерметали типу Ti_xMe_y , а домішки (водень, азот, вуглець, кисень) — тверді розчини проникнення або хімічні сполуки (гідриди, нітриди, карбіди й оксиди).

Залізо, марганець, хром і молібден найістотніше підвищують міцність, хоч і знижують пластичність. Тверді розчини проникнення значно сильніше, ніж розчини заміщення, змінюють механічні

властивості. Легуючі елементи, залежно від впливу на поліморфні перетворення титану, поділяють на три групи:

- α -стабілізатори;
- β -стабілізатори;
- нейтральні.

До першої групи з металів належить алюміній, а з неметалів — вуглець, азот і кисень. Кожен з них підвищує температуру поліморфного перетворення (рис. 8.1, а), збільшує стабільність α -фази й розширює таким чином область твердих розчинів на базі α -Ті. Вуглець, азот і кисень окрихчують титанові сплави, тому їх масові частки обмежуються сотими, а іноді й тисячними долями відсотка. У сплавах зі стійкою α -фазою β -фазу не вдається переохолодити до кімнатної температури, через що вони не здатні зміцнюватися термічною обробкою.

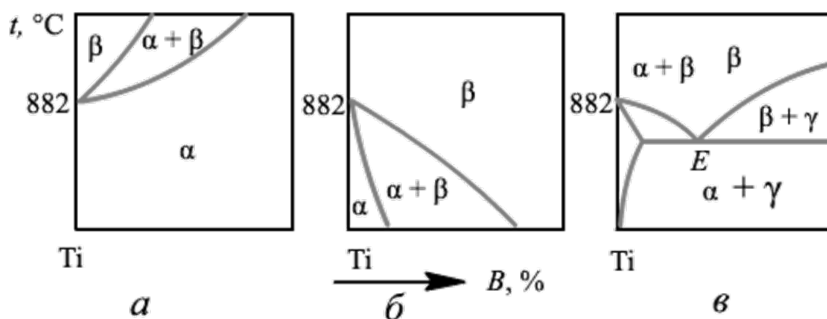


Рисунок 8.1 – Схеми діаграм стану титан – легувальний елемент (В): Ті – α -стабілізатори (а); Ті – β -ізоморфні стабілізатори (б); Ті – β -евтектоїдні стабілізатори (в)

До другої групи належать β -стабілізатори – легувальні елементи, що знижують температуру поліморфного перетворення $\beta \leftrightarrow \alpha$. Елементи другої групи можна поділити на β -ізоморфні (ванадій, молібден, ніобій, тантал) і β -евтектоїдні стабілізатори (хром, марганець, залізо, мідь, нікель, кобальт). β -ізоморфні стабілізатори подібно до β -титану мають ОЦК-комірку і здатні необмежено розчинятись у ньому. Коли концентрація ізоморфних стабілізаторів

висока, β -твердий розчин у рівноважному стані зберігається аж до кімнатної температури (рис.8.1, б).

У сплавах титану з β -евтектоїдними стабілізаторами на лінії евтектоїдного перетворення при досить низькій температурі відбувається евтектоїдний (Е) розпад β -фази. Утворення евтектоїду Е ($\alpha + \gamma$) призводить до істотного підвищення крихкості, що ускладнює промислове використання сплавів з такою структурою. Більшість β -стабілізаторів підвищують міцність, жаротривкість і температурну стабільність, проте дещо знижують пластичність титанових сплавів. Вони впливають і на зміцнення сплавів термічною обробкою.

Міцність титану. За питомою міцністю титан не має суперників серед промислових металів. Навіть такий метал, як алюміній, поступився низкою позицій титану, який лише у 1,7 разів важчий за алюміній, але ушестеро міцніший. І що особливо важливе, титан зберігає свою міцність при високих температурах (до 500 °С, а при додаванні легувальних елементів – 650 °С), в той час як міцність більшості алюмінієвих сплавів різко падає вже при 300 °С.

Титан – дуже твердий метал: він у 12 разів твердіший за алюміній, в 4 рази – за залізо та мідь. Що вище границя плинності металу, то краще деталі з нього протистоять експлуатаційним навантаженням, то довше вони зберігають свої форми та розміри. Границя плинності титану у 18 разів вища, ніж в алюмінію, і в 2,5 рази – ніж у заліза.

Титан і його сплави з Al, V, Mo, Mn, Cr, Si, Fe, Sn, Zr, Nb, Ta застосовуються як конструкційний метал в авіаційній і ракетній техніці, суднобудівній, енергомашинобудівній, харчовій, медичній промисловості і кольоровій металургії, де вони надійно і тривало експлуатуються в багатьох хімічних агресивних середовищах в діапазоні температур від наднизьких до + (500...600) °С і вище.

Найголовніше значення мають титано-ванадієві сплави, які мають високу міцність, ковкість і зварюваність; карбід титану застосовується для виготовлення надтвердих сплавів, діоксид титану TiO_2 – для виробництва стійких титанових білил, пластмас і в целюлозно-паперовій промисловості; оксид титану TiO має металічну провідність, використовується в електрохромних системах.

Відпал. Завдяки відпалу, гартуванню та старінню можна додатково змінювати властивості, з огляду на що у виробничій практиці більшість сплавів титану використовують у

термообробленому вигляді. Відпал застосовують здебільшого, щоб зняти наклеп після холодної обробки тиском. Такий відпал називають рекристалізаційним. Відпал із фазовою перекристалізацією не рекомендується, оскільки зерна утворюваної β -фази швидко збільшуються.

Для уникнення цього температура відпалу повинна перевищувати температуру рекристалізації, однак має бути нижчою за температуру поліморфного $\alpha \rightarrow \beta$ або температуру евтектоїдного $\alpha + \gamma \rightarrow \beta$ перетворень. Ріст масової частки β -стабілізаторів зумовлює зниження температури відпалу і водночас підвищення термічної стабільності β -фази. Слід пам'ятати, що легувальні елементи підвищують температуру рекристалізації сплавів порівняно з чистим титаном. Практично температуру відпалу α -сплавів вибирають у проміжку 800...850 °С, а ($\alpha + \beta$)-сплавів – проміжку 750...800 °С.

Сфери застосування титану та його сплавів:

- Аерокосмічна та автомобільна галузь – створення корпусів літальних апаратів, кузовів та деталей трансмісії спортивних автомобілів;
- Котельна та хімічна індустрія – виготовлення балонів та посудин під тиском, у т.ч. працюючих за підвищених температур та в агресивних середовищах;
- Медицина – виготовлення імплантатів та протезів;
- Енергетика – виробництво турбін;
- Оборонна промисловість – виготовлення жорстких елементів бронезахисту, глушників вогнепальної зброї, деталей та конструкцій військової техніки тощо;
- Спортивна промисловість – виробництво рам велосипедів та інших
- Комплектуючих професійного спортивного обладнання, від яких потрібна висока міцність та зносостійкість при низькій масі;
- Apple iPhone 15 Pro та Apple iPhone 15 Pro Max...

ТЕМА 9. СПЛАВИ КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ

Мідні сплави. Мідними називають сплави, основним компонентом, яких є мідь. Найпоширенішими сплавами на основі міді є латуні та бронзи.

Латунями називають сплави міді з цинком та іншими легуючими елементами. Латуні класифікують за такими ознаками:

- кількість легуючих елементів у сплаві,
- способи виготовлення виробів зі сплавів.

За кількістю легуючих елементів. Латуні поділяють на прості та складні.

Прості латуні – це двокомпонентні сплави, які складаються лише з міді та цинку. Максимальний вміст цинку у латунях становить 45 %. Чим більше цинку входить до складу латуні, тим вона має більшу міцність і меншу пластичність. Найпластичнішими є латуні, які містять 30% цинку. Із збільшенням вмісту цинку до 42...45 % збільшується міцність латуней, але збільшується крихкість. Саме тому латуні, які містять понад 45 % цинку, на практиці не використовують.

Складні латуні – це багатокомпонентні сплави, до складу яких крім міді та цинку входять легуючі елементи (нікель, олово, залізо, свинець, алюміній тощо). Легування впливає на механічні властивості сплавів: збільшує міцність і зменшує пластичність. Свинець полегшує оброблення латуні різанням, алюміній, кремній, манган і нікель поліпшують її корозійну стійкість.

За способом виготовлення виробів. Латуні поділяють на деформівні та ливарні.

Деформівні латуні пластичні, а тому вироби з них виготовляють вальцюванням, волочінням тощо. Так отримують труби, дріт і т. ін.

Ливарні латуні мають добрі ливарні властивості. Саме тому вироби з них отримують литтям у спеціальні, наперед виготовлені, форми.

Бронзи. *Бронзами називають* сплави, міді з Sn, At, Be, Si, Mn, Pb тощо. Бронзи мають добрі ливарні властивості. Серед бронз є пластичні та корозієстійкі. Із бронз в давнину виготовляли зброю, засоби праці тощо. Оскільки вони мають добрі ливарні властивості, з них виготовляли дзвони, гармати, ужиткові речі тощо.

У наш час бронзи використовують у машино– та приладобудуванні. Малий коефіцієнт тертя та стійкість до зносу роблять бронзи поки що незамінними для виготовлення вальниць, труб та інших деталей відповідальних і точних приладів.

За способом виготовлення виробів бронзи поділяють на ливарні та деформівні.

З ливарних бронз виробу виготовляють литтям. З деформівних – тиском і різанням.

Найбільшого поширення набули олов'яні бронзи ливарні, які містять 6 % олова та деформівні, вміст олова в яких більший. З них виготовляють пружини та інші деталі, які працюють за складних умов: великі навантаження та корозійні середовища. Олово – дорогий та дефіцитний метал.

Останнім часом усе ширше застосовують безолов'яні бронзи. До них належать сплави міді з алюмінієм, свинцем, нікелем, берилієм та іншими хімічними елементами. Ці бронзи порівняно з олов'яними мають кращі механічні властивості, але гірші ливарні властивості. Вони мають більшу корозійну стійкість в агресивних середовищах.

Берилієві бронзи є міцнішими, пружнішими, повільніше окислюються на повітрі порівняно з іншими бронзами, саме тому з них виготовляють деталі для точних приладів, мембрани, пружини та інші пружні елементи. Це дорогі бронзи.

Свинцеві бронзи мають добрі антифрикційні (фрикційний – від лат. «frictio» – тертя) властивості та велику теплопровідність. З них виробляють складові вальниць ковзання.

Алюмінієві сплави. *Алюмінієвими називають сплави, основним компонентом яких є алюміній. Щоб поліпшити властивості алюмінію, до нього додають Си, Mg, Mn, Zn, Si, Be, Ti тощо.*

Для алюмінієвих сплавів характерні мала густина та велика питома міцність, яка для деяких марок сплавів наближається до питомої міцності дуже міцних сталей. Алюмінієві сплави використовують майже в усіх галузях, а найширше – в літако–, судно– та автомобіле– будуванні, а також у будівництві.

За способом виготовлення виробів алюмінієві сплави поділяють на деформівні, ливарні та спечені.

Деформівні алюмінієві сплави. Ці сплави є пластичними, добре зварюються, стійкі проти дії агресивних середовищ. Вироби з

цих сплавів отримують штампуванням, пресуванням, волочінням, рідше – різанням та литтям.

Деформівні алюмінієві сплави поділяють на дві групи.

До першої групи належать сплави, які не зміцнюються термічною обробкою.

До другої групи належать сплави, міцність яких зростає після термічної обробки.

Алюмінієві сплави, які не зміцнюються термічною обробкою. Їх структура складається з кристалітів однорідного твердого розчину. Міцність алюмінію можна підвищити легуванням. Щоб отримати сплави, які не зміцнюються термічною обробкою, алюміній легують Mn або Mn і Mg. Отримані сплави мають більшу міцність, але меншу пластичність, ніж алюміній. Магній збільшує міцність сплавів, а манган – ще й корозійну стійкість.

Із цих сплавів виготовляють баки для бензину, азотної та інших кислот, труби. Їх використовують у літако– та суднобудуванні.

Алюмінієві сплави, які зміцнюються термічною обробкою.

До них належать дюралюміній, міцні, жароміцні, ковкі та інші сплави. Міцність цих сплавів підвищують термічною обробкою: гартуванням з подальшим старінням.

Старінням називають процес збільшення міцності сплавів під час нагрівання або після нього.

Відповідно старіння поділяють на природне та штучне.

У процесі природного старіння міцність сплавів зростає після нагрівання та тривалого витримання на повітрі.

У процесі штучного старіння міцність сплавів зростає під час нагрівання.

1. Дюралюміній. Дюралюмінієм (від лат. «durus» – твердий і алюміній) називають сплави алюмінію з міддю (2,2...4,8 % Cu), магнієм (0,4...2,4 % Mg) і манганом (0,4...0,8 % Mn).

Типовим дюралюмінієм є сплав Д1. В основі маркування дюралюмінію лежить перша літера назви сплаву «Д», після якої йдуть цифри, які означають умовний номер сплаву. Для з'ясування хімічного складу сплаву треба звернутися до довідкової літератури.

2. Міцні алюмінієві сплави. Ці сплави мають більшу міцність, але меншу пластичність, ніж дюралюміній. Їх використовують у літакобудуванні.

3. Жароміцні алюмінієві сплави. Їх використовують для виготовлення деталей, які працюють за температури 300 °С. Це поршні, головки циліндрів, лопаті та диски компресорів турбореактивних двигунів тощо. Ці сплави досягають жароміцності за рахунок великої кількості Cu, Mn та Ti.

4. Ковкі алюмінієві сплави. Ці сплави є пластичними. З них виготовляють деталі складної форми та середньої міцності для літаків. Вони добре зварюються контактним і аргоно– дуговим способами.

Ливарні алюмінієві сплави. Вироби з ливарних алюмінієвих сплавів отримують литтям, оскільки вони мають добрі ливарні властивості. Добрі ливарні властивості мають такі сплави, у структурі яких є евтектика. Саме тому кількість легуючих елементів у ливарних сплавах більша, ніж у деформівних. До ливарних сплавів належать силуміни.

Силумінами називають сплави силіцію з алюмінієм та іншими легуючими елементами. Найчастіше використовують силуміни, які містять 5 – 14% Si. Структура силумінів складається з твердого розчину і евтектики, яка містить 11,6% Si. Чим більше евтектики у сплаві, тим він має кращі ливарні властивості. Крім силумінів добрі ливарні властивості мають сплави алюмінію з міддю, магнієм та іншими легуючими елементами.

Спечені алюмінієві сплави. Алюмінієві сплави отримують спіканням порошків алюмінію та оксиду алюмінію або порошків алюмінію чи алюмінієвого сплаву з порошками легуючих елементів. Їх поділяють на спечені алюмінієві порошки і спечені алюмінієві сплави.

1. Спечені алюмінієві порошки (САП). Ці сплави отримують спіканням порошків алюмінію та оксиду алюмінію.

Із збільшенням вмісту оксиду алюмінію зростають міцність і жароміцність сплавів. Вироби, отримані із сплавів САП, добре зварюються, мають вищу жаростійкість, ніж звичайні алюмінієві сплави. Вони можуть довгий час працювати за температур 350...500 °С.

Сплави САП використовують у літако– та суднобудуванні, електротехніці, хімічній промисловості. З них виготовляють лопаті компресорів, теплообмінники тощо.

2. Спечені алюмінієві сплави (САС). Ці сплави отримують спіканням порошку алюмінію або порошку алюмінієвого сплаву

(наприклад, дюралюмініу) і порошоків легуючих елементів (заліза, хрому, нікелю тощо). За кімнатної температури САС мають вищу міцність, ніж САП. Із підвищенням температури навпаки. Вироби із сплавів САС витримують нагрівання до температур 350...400 °С.

Магнієві сплави. *Магнієвими називають* сплави, основним компонентом яких, є магній. Магній – найлегший серед конструкційних матеріалів. Його густина дорівнює 1700 кг/м³. Він має незначні механічні властивості. Саме тому з чистого магнію не виготовляють конструкцій.

Для виготовлення конструкцій використовують сплави. На практиці використовують сплави магнію з алюмінієм, цинком, манганом та іншими елементами. Магнієві сплави легко ріжуться, добре зварюються, мають порівняно велику пластичність і міцність, а також задовільні ливарні властивості. Істотний недолік цих сплавів – мала корозійна стійкість. Залежно від способу виготовлення виробів магнієві сплави поділяють на ливарні та деформівні.

Із магнієвих сплавів виготовляють корпуси приладів, фотоапаратів, деталі літаків, двигунів тощо. Для підвищення корозійної стійкості, вироби з магнієвих сплавів оксидують. На оксидовану поверхню наносять лакофарбові покриття.

Нікелеві сплави. *Нікелевими називають* сплави, основним компонентом яких, є нікель.

Нікель має велику міцність, пластичність і корозійну стійкість. Відповідно ці властивості мають також сплави на його основі. Сплави, які містять понад 55 % Ni, мають вищу жароміцність, ніж кращі жароміцні сталі. Вироби, виготовлені з них, витримують нагрівання до температур 800...1000 °С.

Представниками нікелевих сплавів є ніхроми, німоніки, монель–метали тощо.

Ніхромами називають нікелеві сплави, основним легуючим елементом яких є хром. Ніхроми дуже жаростійкі. Тому з них виготовляють нагрівні елементи, які працюють без навантаження в окиснювальному середовищі.

Німоніками називають нікелеві сплави, до складу яких крім хрому, входять титан, алюміній, молібден, вольфрам тощо. Із цих сплавів виробляють деталі газових турбін, які працюють за температур 650...850 °С.

Монель–металами називають сплави нікелю з міддю, залізом та манганом. Із них виготовляють монети, хірургічні інструменти.

Сплавами, які пам'ятають свою форму називають такі сплави, які в процесі нагрівання здатні відновлювати початкову форму виробів, виготовлених з них.

Першим сплавом, який «запам'ятав» свою форму, є ***нітинол***. Суть ефекту «пам'яті форми» полягає у відновленні початкової форми виробу нагріванням. Отже, якщо виробу, виготовленому з такого сплаву, надати потрібної форми, а потім за нижчої температури змінити цю форму на іншу, то в процесі нагрівання виріб набуде початкової форми. ***Пам'ять – дуже цінна властивість сплавів.***

Якщо з легованого нітинолу, який складається з 45% титану, 55 % нікелю за кімнатної температури виготовити деталі, наприклад з'єднуючі муфти, заклепки тощо, і zdeформувати їх у рідинному азоті, то, відігрівшись, вони «згадають» свою попередню форму і муфта охопить труби, герметичне з'єднавши їх. Як бачимо, легко можна уникнути таких операцій, як зварювання чи паяння. Крім того, отримане з'єднання надійніше.

За допомогою ефекту «пам'яті форми» встановлюють заклепки в труднодоступних місцях. Для цього заклепку з одного боку розрізають уздовж осі на певну глибину, кінці розводять і заклепку нагрівають. Потім за кімнатної температури кінці заклепки вирівнюють і встановлюють в отвір. Повторне нагрівання приводить до розведення кінців заклепки, унаслідок чого деталі з'єднуються.

Сплав нітинол застосовують у медицині, оскільки він має добру корозієстійкість, добру «пам'ять» і добру сумісність з живими тканинами організму. Його використовують у хірургії, при переломах кісток.

Рекомендована література

1. Єгоров С.Г. Фізико–хімічні процеси виробництва кольорової металургії : Підручник / С.Г. Єгоров, І.Ф. Червоний, Р.М. Воляр // Під ред. д.т.н., проф. Червоного І.Ф. – Запоріжжя : ЗДІА, 2012. – 202 с.
2. Єгоров С.Г. Конструкції агрегатів кольорової металургії : Підручник / С.Г. Єгоров, І.Ф. Червоний, Р.М. Воляр // Під ред. д.т.н., проф. Червоного І.Ф. – Запоріжжя : ЗДІА, 2012. – 230 с.
3. Єгоров С.Г. Технологічні особливості процесів виробництва кольорових металів : Навч. посібник / С.Г. Єгоров, І.Ф. Червоний // За ред. д.т.н., проф. Червоного І.Ф. – Запоріжжя : ЗДІА, 2011. – 292 с.
4. Солнцев Ю.П. Спеціальні конструкційні матеріали : Підручник / Ю.П. Солнцев, С.Б. Беліков, І.П. Волчок, С.П. Шейко. – Запоріжжя : «ВАЛПІС–ПОЛІГРАФ», 2010. – 536 с.
5. Сушко О.В. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів : Навч. посібник / О.В. Сушко, С.В. Кюрчев. – Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2010. – 323 с.
6. Volchok I.P. Material Science and Technology of Structural Materials / I.P. Volchok, S.B. Belikov, V.V. Gazha // Under editor-ship of I.P. Volchok, Professor, D.Sc. (Engineering) – Zaporizhzhya : ZNTU; Dike Pole, 2009 – 284 p.
7. Богуслаєв В.О. та ін. Авіаційно-космічні матеріали та технології : Підручник / В.О. Богуслаєв, О.Я. Качан, Н.Є. Калініна, В.Ф. Мозговий, В.Т. Калінін. – Запоріжжя : Видавництво ВАТ «Мотор Січ», 2009. – 383 с.
8. Дурягіна З.А. Сплави з особливими властивостями : Навч. посібник / З.А. Дурягіна, О.Я. Лизун, В.Л. Пілюшенко. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2007. – 236 с.
9. Волчок І.П. Сучасні виробничі технології у машинобудуванні та металургії : Навч. посібник / І.П. Волчок, В.М. Плескач, І.А. Шестаков // За заг. ред. д.т.н., проф. Волчка І.П. – Запоріжжя : ЗНТУ; Дике Поле, 2006. – 360 с.
10. Збожна О.М. Основи технології: Навчальний посібник / О.М. Збожна. – Тернопіль : Карт–бланш, 2002. – 486 с.