

Тема 3. Металургія черних і кольорових металів

1. Способи виробництва металів і сплавів
2. Виробництво залізовуглецевих сплавів
3. Виробництво алюмінію

3.1 Способи виробництва металів і сплавів

Металургією називають науку про промислові способи одержання 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 зв'язана з використанням металів.

З усіх металів і сплавів на їх основі в даний час найчастіше використовують сталь. 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 хром (Cr), нікель (Ni), титан (Ti), ванадій (V) тощо. Сплави алюмінію (Al), титану (Ti), берилію (Be) тощо є основою літако- та ракетобудування, тому їх називають «крилатими» металами. Мідь (Cu) - основний матеріал для електро- та радіотехніки. Сплави на основі міді використовують у машинобудуванні. Знаходять застосування й трудноплавкі метали – молібден (Mo), тантал (Ta), вольфрам (W), ніобій (Nb) і сплави на їх основі. Використовують також і легкоплавкі метали – натрій (Na), калій (K), літій (Li), свинець (Pb), вісмут (Bi), галій (Ga) тощо.

Метали та сплави отримують різними способами:

1. Пірометалургійний спосіб (від грецьк. піро... - вогонь і металургія) - використовують найчастіше. За цим способом виробництво металів і сплавів ґрунтується на використанні теплової енергії, яка виділяється в процесі згорання

палива або протікання хемічних реакцій у сировині. Під час згорання палива виділяється теплова енергія й утворюється CO. Теплову енергію використовують для розігрівання та розплавлення сировини, а CO - для відновлення металів із їх оксидів. Пірометалургійним способом отримують чавуни у домнових 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 у тому, що за температури 10000°C оксиди металу перетворюються на плазму з певним ступенем йонізації. Оскільки енергія йонізації атомів металів менша від енергії йонізації атомів кисню, то в такій плазмі атоми металу йонізуються, а атоми кисню залишаються нейтральними. З отриманої суміші за допомогою магнітного поля вилучають йони металу. У плазмових печах отримують вольфрам, молібден, синтезують карбіди титану тощо. Цей спосіб використовують для отримання дуже якісних металів і сплавів.

4. Хеміко-металургійний спосіб. Цей спосіб поєднує хемічні та металургійні процеси. Таким способом виробляють титан: з титанової руди отримують чотирьоххлористий 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 та розмірів) із подальшим спіканням виготовляють вироби (заготівлі, деталі тощо).

7. Космічна металургія. Виробництво металів і сплавів у космосі називають космічною металургією. Оскільки у космосі не діють сили тяжіння, то плавлення металів і отримання сплавів проводять без тиглів (від нім. *tiegel* - сковорода, каструля). Під дією сили поверхневого натягу розплав набуває форми кулі й вільно зависає у просторі. Використовуючи електромагнітне поле, розплав можна надати довільної форми. За умов космосу компоненти сплавів добре перемішуються. У разі невагомості газу добре розчиняються в розплавах, а після кристалізації отримані сплави мають вигляд «губки» з рівномірно розподіленими комірками, заповненими газом. Такі сплави називають металогазами, вони надзвичайно легкі, наприклад сплав, який складається з 87% газу та 13% сталі, плаває на воді як коркове дерево. Металогази дуже перспективні для літако- та ракетобудування, а також для космічної техніки.

Заслуговує на увагу також технологія отримання композиційних волокнистих матеріалів і виробів литтям. За земних умов отримати якісні вироби з цих матеріалів неможливо.

Великі можливості відкриває космічна металургія для отримання надчистих сплавів з рівномірним (наперед заданим) розподілом домішок, що важливо в процесі виробництва напівпровідникових матеріалів. Отримані напівпровідникові матеріали можуть бути використані також у процесі розв'язання проблеми енергетики.

Окрім описаних способів отримання металів і сплавів існує також електропроменевий спосіб та інші.

3.2 Виробництво залізовуглецевих сплавів

Досягнення науки й техніки, розвиток усіх галузей промисловості

безпосередньо зв'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, що містять домішки (фосфор (P), сірку (S), марганець (Mn), кремній (Si) і т.п.). Чавуни містять більше вуглецю (2,0-4,3%) і домішок, сталі - менше (до 2,0% вуглецю). Відрізняються і їх властивості. Чавуни тверді, крихкі, погано зварюються, але мають добрі ливарні властивості. Чавуни порівняно із сталями - дешевші. Сталі, навпаки, мають велику міцність, пластичність, добре зварюються. Вони мають добрі технологічні властивості; вироби з них виготовляють тиском, різанням, литтям.

Чавуни отримують із залізних руд, сталі - із чавунів. Отже перехід від руди до сталі відбувається у два етапи, спочатку варять чавун, а потім із чавуну варять сталь. Схематично перехід від руди до сталі виглядає так, як подано на рисунку 3.1.

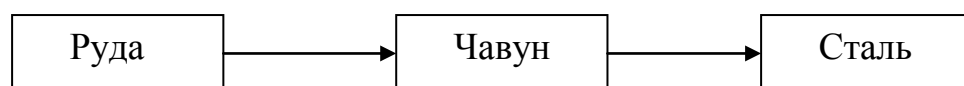


Рисунок 3.1 - Схема процесу переходу від руди до сталі

За цією схемою у світі виробляється більш 90% сталі.

Ще донедавна це була єдина схема переходу від руди до сталі. З неї випливає, що для збільшення сталі, потрібної для промисловостей, необхідно збільшити обсяг чавуну, а збільшення кількості чавуну відповідно спричинить збільшення видобування руди, палива, флюсу, споживання електроенергії. Окрім збільшення матеріальних витрат 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.

Металургійне виробництво включає наступні комбінати, заводи та цехи:

- шахти та кар'ри по видобутку коксівних вугіль і залізних руд;
- гірничо-збагачувальні комбінати (ГЗК), на яких руда подрібнюється та збагачується;
- аглофабрики, на яких пилоподібна руда після збагачення проходить агломерацію чи грудкування;
- домневі цехи, у яких руда та кокс використовуються для одержання передільного чавуна, близько 85% якого в рідкому виді надходить у сталеплавильні цехи, а інше - на машинобудівні заводи у виді паць (чушек);
- сталеплавильні цехи, що мають мартенівські і (чи) дугові печі, і (чи) конвертери. У сталеплавильному цеху сталь розливають у ізложниці, одержуючи злитки, чи на машинах безупинного лиття заготівель (МБЛЗ), одержуючи блюми та сляби (заготівлі для сортового та листовою прокату);
- прокатні цехи, у яких зі злитків, блюмів і слябів одержують прокатну продукцію (куточки, прутки, труби, лист).

Відповідно до процесів одержання й обробки металу в чорній металургії розрізняють 4 переділи. Перший переділ - це виробництво чавуна, другий - сталі, третій - прокату, четвертий - додаткова обробка прокату (термічне зміцнення, нанесення захисних і декоративних покриттів і ін.)

У залежності від числа переділів розрізняють: - інтегровані заводи (комбінати), що мають усі 4 переділи; - неінтегровані заводи, що мають сталеплавильне виробництво, прокатку та цехи по обробці прокату; - міні-заводи, що мають 1-2 могутні електродугові печі, МБЛЗ обмеженої номенклатури та прокатне виробництво. Прикладом інтегрованого підприємства може служити металургійний комбінат «Запоріжсталь», що має всі 4 переділи; прикладом неінтегрованого - завод «Днепрспецсталь», що має електросталеплавильне та прокатне виробництво.

Вихідними матеріалами для одержання чавуна та сталі є руди чорних

металів, паливо, флюси, а також вогнетриви, застосовувані для футеровки плавильних агрегатів.

До **залізних руд** відносять червоний (основа - Fe_2O_3), бурий ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), магнітний (Fe_3O_4) і шпатовий (FeCO_3) залізняка. Залізні руди, наприклад, Кривого Рогу містять 50-65% заліза (у виді оксидів), 8-22% кремнезему, 0,2-3,2% глинозему, 0,003-0,030% фосфору, 0,01-0,15% сірки та деякі інші домішки. З метою відділення корисних мінералів від порожньої породи залізні руди збагачують: їх подрібнюють до порошкоподібного стану та піддають магнітному збагаченню. Руду також піддають агломерації чи грудкуванню.

Як паливо в металургії використовують кокс, мазут, природний, домневий (колошніковий) і коксовий газ, пилоподібне кам'яне вугілля.

Кокс - кускове, міцне та високопорісте паливо - одержують шляхом спікання (сухої перегонки) без доступу повітря при температурі 1200-1400°C коксівних вугіль. Окрім вуглецю кокс містить 9-13% золи й до 2% сірки. Кокс - дороге та дефіцитне паливо. Запаси коксівних вугіль обмежені. Вартість коксу складає 45-55% від вартості чавуна.

Домневий газ - низькокалорійне паливо - використовується після очищення для нагрівання повітря, подаваного в домневу піч.

Останнім часом при домневій плавці частину коксу заміняють природним, коксовим газом, мазутом чи пилоподібним паливом (меленим кам'яним вугіллям).

Флюсами називають матеріали, що утворюють при плавці шлаки - легкоплавкі з'єднання з порожньою породою руди (не удається видалити всю порожню породу в процесі збагачення), золою палива й іншими неметалевими включеннями (сіркою, фосфором і ін.). Частіше за все як флюс використовують кварцовий пісок, що складається в основному з оксиду кремнію (SiO_2), вапняка (CaCO_3), вапна (CaO) й ін.

Вогнетривні матеріали застосовують для внутрішнього облицювання (футеровки) плавильних і термічних печей, наприклад, динасова цегла та

кварцовий пісок, що складаються в основному з кремнезему й ін.

Перший переділ - виробництво чавуна.

Домневий процес. Домнева піч (рисунок 3.2) являє собою шахтну піч безупинної дії, що працює без зупинки 5-10 років.

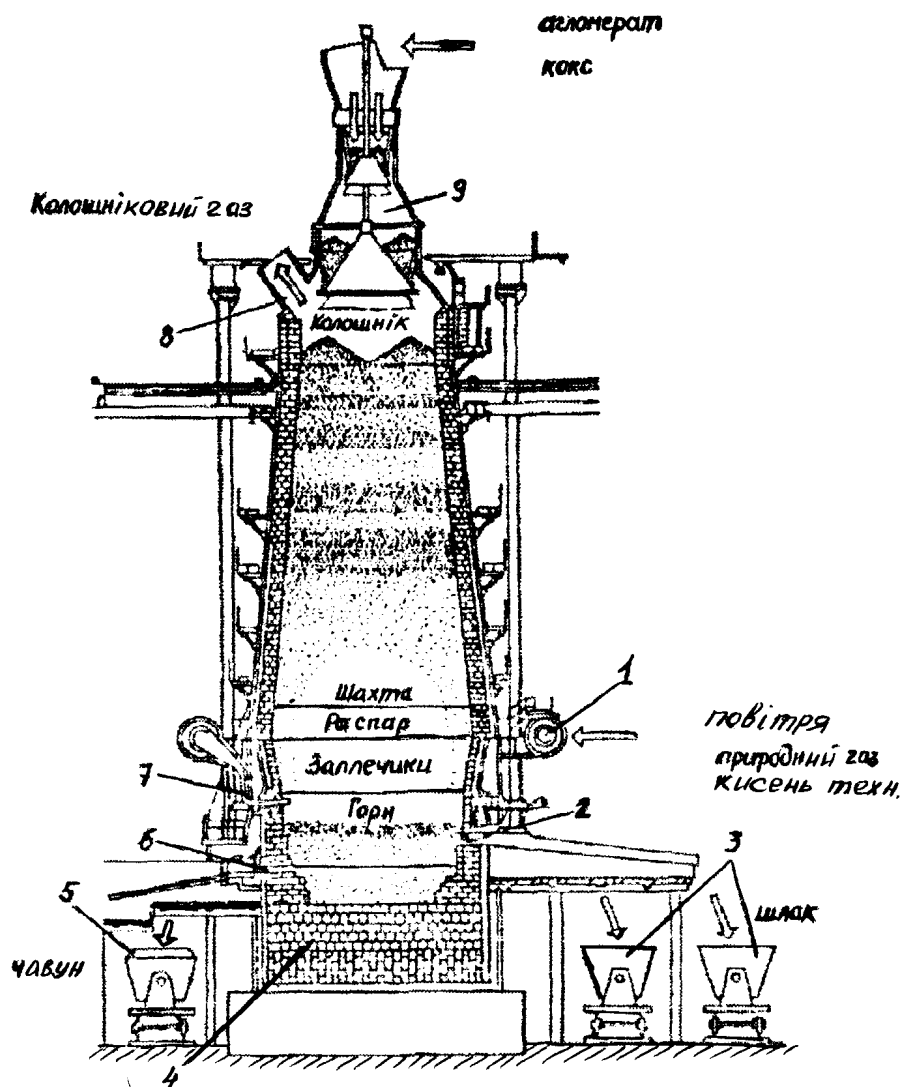


Рисунок 3.2 - Схема домневої печі:

- 1 - воздухопровод дугтя; 2 - жужільна льотка; 3 - шлаковоз; 4 - подина;
- 5 - чавуновоз; 6 - льотка для чавуна; 7 - фурма для подачі дугтя в піч;
- 8 - газохід; 9 - засипний пристрій

Піч працює за принципом противотока: шихтові матеріали (офлюсований агломерат чи окатиші й кокс) рухаються зверху вниз, а назустріч їм піднімається

потік гарячих газів - продуктів згорання палива (коксу, вугільного пилу, природного газу). При цьому протікають наступні процеси: горіння палива з утворенням монооксида вуглецю (CO), відновлення та одержання залізовуглецевого сплаву (утворення Fe_3C).

Вуглець знижує температуру плавлення залізовуглецевого сплаву, останній, опускаючись в нижню частину печі, починає плавитися, насичуватися вуглецем і іншими елементами, відновлюваними з руди: марганцем, кремнієм, сіркою, фосфором - у результаті утворюється чавун, що накопичується в горні печі.

Одночасно з чавуном у нижній частині печі збирається та розташовується над чавуном шлак - сплав порожньої породи, флюсів, золи палива, а також частини оксидів, що невідновилися. У міру нагромадження чавун випускають з печі через 3-4 години, шлак - через 1,0-1,5 години відповідно через чавунну та шлакову льотки.

Основними продуктами домневого виробництва є:

- передільний чавун, використовуваний у рідкому виді для переділу в сталь у мартенівських печах, кисневих конвертерах і електродугових печах;
- ливарний чавун, що відливається в злитки (паці) масою до 50 кг і використовується для вторинної плавки на машинобудівних заводах;
- домневий феросіліцій (2-3% вуглеця, 9-13% кремнію, інше - залізо) - феросплав для легування та розкислення сталі;
- домневий феромарганець (6-7% вуглеця, 70-75% марганцю, інше - залізо) - феросплав для легування та розкислення сталі;
- шлак, використовуваний для виробництва шлаковати, шлакоблоків, цементу, дорожніх покриттів;
- домневий (колошніковий) газ, що містить CO_2 , H_2 , CH_4 , N_2 , SO_2 , NO_x і ін. й використовується як паливо для повітрянагрівачів.

Головною перевагою домневого процесу є безперервність роботи, простота конструкції і найвища продуктивність (сучасна домнева піч з корисним обсягом 5000 м^3 робить 2 тис. тонн чавуна на добу).

До числа основних недоліків домневої печі варто віднести необхідність застосування як джерела тепла та відновлювача коксу. Виробництво коксу зв'язано з використанням дефіцитних коксівних вугіль, із забрудненням навколишнього середовища оксидами вуглецю, сірки й азоту, а також іншими токсичними та канцерогенними з'єднаннями (бензолом, фенолом, бенз- α -піреном і ін.). У цілому, у порівнянні з іншими переділами домневий процес супроводжується найбільш токсичними викидами.

З метою зниження витрати коксу застосовується подача в домневу піч кисню, природного газу, мазуту та пилоподібного кам'яного вугілля роздільно чи в різних сполученнях. При цьому використання пилоподібного палива розглядається як одне з найважливіших і перспективних напрямків розвитку й удосконалювання домневого процесу.

Другий переділ - виробництво сталі.

У сучасній металургії основними матеріалами для виробництва сталі служать передільний чавун і сталевий брухт (скрап). Суть переділу чавуна в сталь полягає в окислюванні й видаленні в шлак чи у газову атмосферу домішок. У якості окислювачів використовують залізну руду, ковальську окалину та технічний кисень. Залізна руда відновлюється залізом до FeO і в такому виді добре розчиняється у шлаку й у металі, у свою чергу окисляючи вуглець, марганець і кремній. Для видалення з металу фосфору та сірки використовують спеціальні реакції дефосфорації і десульфурації.

При виплавці легованих сталей у різні періоди плавки у сталеплавильну піч сідають легуючі феросплави й елементи: феромарганець, феросіліцій, феромолібден, електролітичний нікель, металевий титан і ін.

При виробництві сталі з чавуна використовують наступні методи:

1. Мартенівський процес, що полягає у розплавлюванні шихти, зниженні в неї змісту вуглецю, марганцю, кремнію, сірки, фосфору, у присадке відсутніх елементів (легуванні). Процес буває двох різновидів: скрап-процес і скрап-рудний процес. У першому випадку шихта складається зі сталевого брухту (60-

70%) і твердого чушкового чавуна (30-40%). Цей процес застосовується на заводах, що не мають домневого виробництва і, відповідно, рідкого чавуна. При скрап-рудному процесі шихта, як правило, складається з рідкого чавуна (50-80%), скрапу і залізної руди, використовуваної як окислювач. При обох схемах, окрім руди, як окислювач часто використовують кисень, що вводиться як для збагачення повітря, так і для прямого окислювання домішок.

Для шлакоутворення, окрім залізної руди й окалини в піч вводять вапняк, вапно, бій шамотної цегли й ін. флюси.

Основними недоліками мартенівського процесу є велика тривалість плавки та значна витрата палива. З цих причин технічно розвинуті країни (США, Німеччина, Японія й ін.) уже кілька десятиліть не застосовують мартенівських печей у сталеплавильному виробництві.

2. Киснево-конвертерний процес полягає в продувці рідкого чавуна технічно чистим (99,5%) киснем. У промислових масштабах киснево-конвертерний переділ уперше почали застосовувати у 1950-і роки на заводах у Лінце й Донавіце (Австрія), за кордоном він одержав назву ЛД-процесса. Техніко-економічні переваги киснево-конвертерного процесу дозволили йому потіснити мартенівський процес і стати основним способом виробництва сталі. До середині 1970-их років на його частку приходилося більш половини світової виплавки сталі (близько 350 млн. тонн).

Кисневий конвертер являє собою судину грушоподібної форми місткістю 130-350 тонн рідкого чавуна. Основні технологічні операції одержання сталі в кисневому конвертері (ЛД-процесс) показані на рисунку 3.3.

Тривалість плавки в кисневих конвертерах ємністю 130-350 тонн складає 25-50 хвилин. Продувка киснем зверху має ряд недоліків: частина кисню відбивається від поверхні металу й шлаку та губиться; у зоні кисневого струменя розвивається висока температура (2000-2500°C) і відбувається інтенсивний випар заліза, що ускладнює очищення газів, що відходять.

Ці недоліки дозволяють усунути способи подачі кисню з комбінованою

продувкою: зверху, бічний і через днище. Це забезпечує більш високий ступінь рафінування сталі по фосфору, сірці, кисню, азоту, водню.

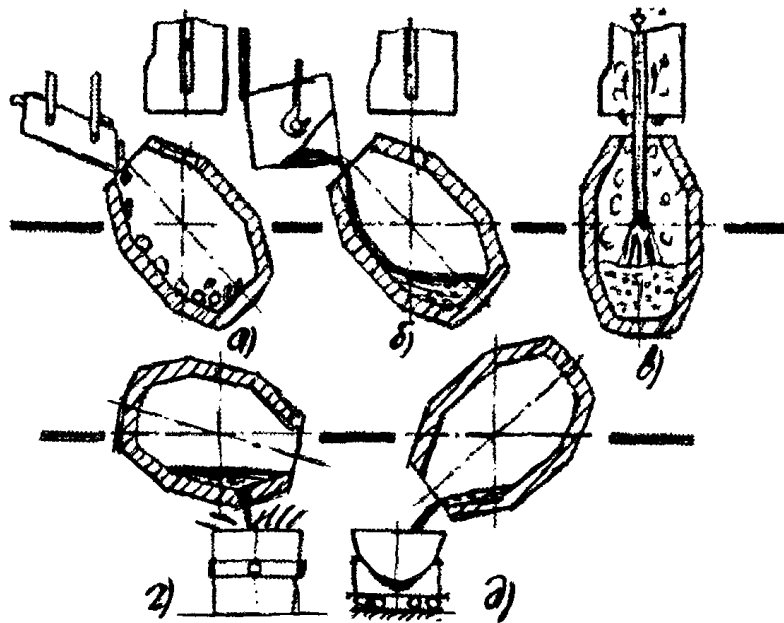


Рисунок 3.3 - Послідовність технологічних операцій при виплавці сталі у кисневому конвертері:

- а - завантаження сталевого брухту та вопна; б - заливання рідкого чавуна;
в - продувка киснем зверху; г - випуск сталі; д - зливання шлаку

Основним недоліком киснево-конвертерного переділу є труднощі одержання високолегованих сталей відповідного призначення через швидкоплинність процесу й окисну атмосферу у конвертері.

3. Електросталеплавильний процес являє собою більш досконалий метод виплавки, чим мартенівський і киснево-конвертерний способи. У електродуговій печі можна легко регулювати тепловий процес, змінюючи параметри струму; можна створювати окисну, нейтральну та відбудовну атмосферу чи вакуум; можна легко одержувати високолеговані сталі з мінімальними втратами легуючих елементів. Сталь, отримана в електродугових печах, містить мінімальні кількості сірки, фосфору, газів, неметалевих включень. По якості

вона перевершує мартенівську та киснево-конвертерну сталь. Тому в електродугових печах одержують, у першу чергу, відповідальні високоякісні сталі (високоміцні, корозійностійкі, жароміцні, інструментальні й ін.).

Принципова схема пристрою електродугової печі показана на рисунку 3.4.

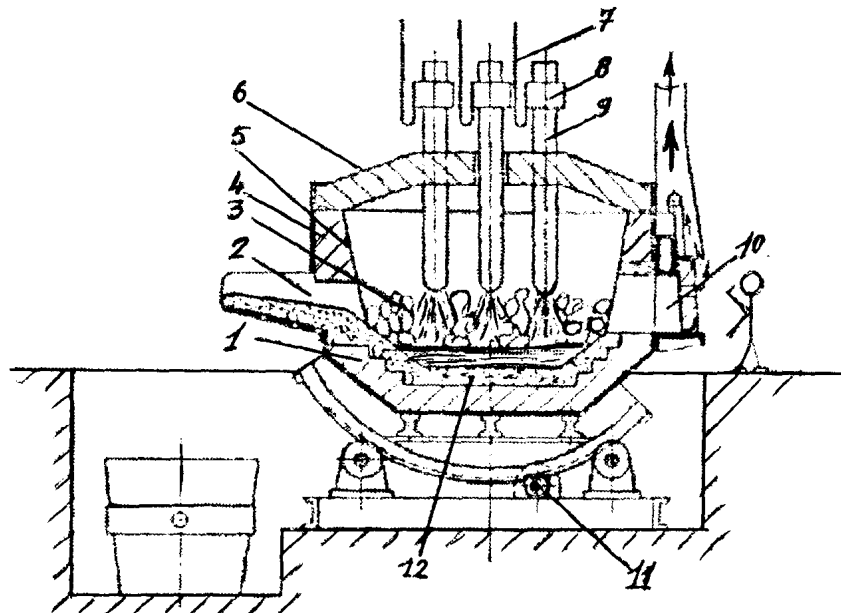


Рисунок 3.4 - Схема електродугової печі

Через трансформатор до електродів (9) за допомогою гнучких кабелів (7) підводиться змінний струм напругою 100-200 В для печей ємністю до 12 тонн і 400-600 В - для печей ємністю 200 і більш тонн; сила струму досягає десятків тисяч ампер. Шихту (3) завантажують на подину печі (12). Завантаження феросплавів, шлакообразуючих, узяття проб металу та шлаку здійснюється через робоче вікно (10) у стінці корпусу. Піч спирається секторами днища на ролики (11) і має привід для нахилу убік робочого вікна (10) (випуск шлаку самопливом) чи жолоба (2) (випуск сталі з печі). Основну масу шихти складає сталевий скрап (до 90%), інше - передільний чавун у рідкому чи твердому виді (окрім залізовмісної шихти використовують феросплави, зміст яких може досягати 50% від загальної маси металеві шихти).

У порівнянні з кисневим конвертером електродугова піч (ЕДП) уступає по продуктивності, але забезпечує більш високу якість сталі. В даний час у світі біля третини сталі виробляється в ЕДП. При цьому за останні 25-30 років ЕДП з агрегату з малою потужністю та низькою продуктивністю, призначеного головним чином для виплавки спецсталей, перетворилася у високопродуктивний агрегат (тривалість плавки у 200 т ЕДП досягає 50-70 хвилин), у якому можна одержувати сталь будь-якої марки. Тривалість плавки в кисневому конвертері й дугової печі практично зрівнялася.

Розливання сталі. З плавильної печі сталь випускається в стопорний ківш чи спочатку в установку для внепечної обробки (рафінування), а потім у стопорний ківш. Останній призначений для порціонного розливання сталі, для чого має у своєму днищі отвір, що закривається і відкривається за допомогою стопорного пристрою. У ківш звичайно випускають усю плавку, найбільш великі ковші мають місткість до 400 тонн. За допомогою мостового крану сталь у ковшах транспортується до місця розливання.

Існують два методи розливання сталі: у ізложниці (чавунні форми) для одержання злитків і на машинах безупинного лиття заготівель (МБЛЗ) для одержання напівфабрикатів (блюмів і слябів) для прокатки.

Затвердіння рідкої сталі у ізложниці відбувається протягом тривалого часу. При цьому відповідно до законів кристалізації структура злитка неоднорідна (рисунок 3.5 (а)).

У верхній частині злитка (у «прибутку») унаслідок зменшення обсягу при кристалізації утворюється усадочна раковина. Тому прибуткова частина злитка відрізається й надходить на повторний переплав.

Таким чином, розливання сталі в ізложниці характеризується двома основними недоліками: значними (15-20%) втратами металу та неоднорідною структурою злитка.



а) б)

Рисунок 3.5 - Макроструктура злитка відлитого:

а - у ізложниці; б - методом безупинного лиття заготівель

Цих недоліків позбавлений другий спосіб розливання - безупинний, на МБЛЗ. Існують різні типи МБЛЗ: вертикальний, радіальний, криволінійний, горизонтальний. На рисунку 3.6 зображена машина радіального типу. Зі стопорного ковша (1) сталь надходить у проміжний (постійно наповнений) ківш (2), а з нього - у мідний водоохолоджуваній кристалізатор (3). Завдяки швидкому охолодженню та спрямованій кристалізації у злитку не розвиваються дефекти усадочного походження й тому відсутні втрати рідкого металу на прибуток. Тому вироби (лист, сортовий прокат), отримані з безупиннолітої заготівлі мають кращу макроструктуру (рисунок 3.5 (б)), а отже, і властивості, чим зі звичайного злитка.

Методи спеціальної електрометалургії - засновані на процесах рафінування при повторному переплаву сталі на спеціальних установках. При цьому зважаються дві задачі: 1) досягнення більш високого ступеня рафінування (очищення від домішок); 2) одержання злитка з меншими дефектами, чим при його виливці в ізложницю та на МБЛЗ. У результаті одержують високоякісні спеціальні сплави відповідального призначення.

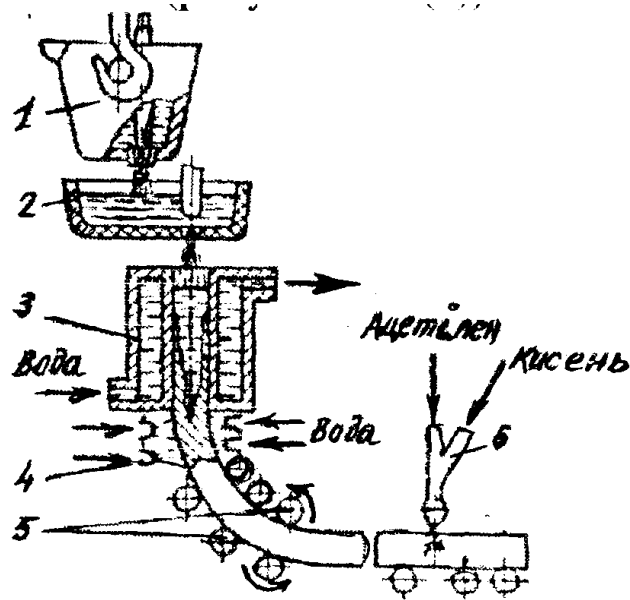


Рисунок 3.6 - Схема безупинного розливання сталі

У спецеелектрометалургії знайшли застосування 4 переплавних процеси: - вакуумно-дуговий; - електрошлаковий; - електронно-променевий і - плазмово-дуговий. Загальним для всіх цих процесів є краплинний характер плавлення та спрямована (знизу нагору) кристалізація металу у водоохолоджуваних ізложницях (кристалізаторах). Краплинний масоперенос металу з електрода, що витрачається, на злиток забезпечує глибоке рафінування, а послідовна прискорена кристалізація - одержання щільної, без усадочних дефектів структури.

Пряме одержання заліза з руди

Головними недоліками загальноприйнятої схеми виробництва сталі є: двухстадійність процесу (руда→чавун→сталь), необхідність спеціальної підготовки шихти для домневої печі (здрібнювання, збагачення й грудкування руди, одержання коксу), дефіцит і висока вартість коксівних вугілля, забруднення сталі сіркою з коксу, шкідливі екологічні викиди коксохімічних заводів, аглофабрик і домневих печей. Тому металургами багатьох країн неодноразово починалися спроби усунути частково чи повністю зазначених недоліків. У світі практикують впровадження в дію способи переходу від руди до сталі, що виключають

виробництво чавуна. Такий спосіб називають прямим (безчавунним) виробництвом сталі. Схематично він представлений на рисунку 3.7.

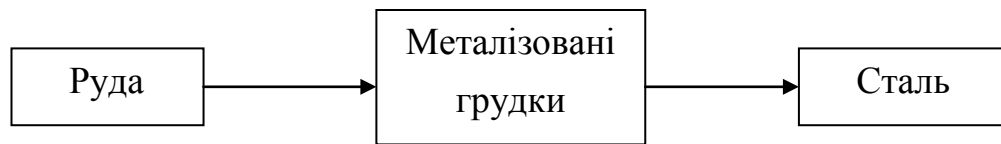


Рисунок 3.7 - Схема безчавунного виробництва сталі

З руди отримують грудки, в яких залізо відновлюють із сполук за допомогою СО, а потім із цих грудок у сталеварних агрегатах варять сталь.

Роботи над удосконаленням процесу продовжуються.

Третій переділ - прокатка сталі.

Отримана в сталеплавильних цехах у виді злитків (розливання в ізложниці) чи у виді литих блюмів і слябів (розливання на МБЛЗ) сталь піддається прокатці з метою одержання готової продукції (рейок, прутків, труб, листів і ін.).

Розрізняють два основних типи прокатного виробництва: 1) для випуску листового прокату шляхом почергової прокатки на реверсивному стані (рисунок 4.8 (а)) чи на безупинному широкополосному стані (рисунок 3.8 (б)); 2) для випуску сортової продукції (рейки, куточки, швелери й т.д) шляхом багаторазової прокатки на сортових станах. Окрім зазначених видів прокату одержують труби, дріт, а також фасонний прокат (колеса, кулі, вали й ін.).

В даний час в Україні 11-12% сталі виробляється в електродугових печах, близько 40-45% у кисневих конвертерах, інше - у мартеновських печах; у США, Японії, Німеччині - 30-40% в електропечах, інше - у кисневих конвертерах, причому частка електросталі має тенденцію до росту. Тенденції, що просліджуються у цих країнах не випадкові: кисневий конвертер економічніший та й більш продуктивний, чим мартени, при рівної чи навіть більш високій якості сталі.

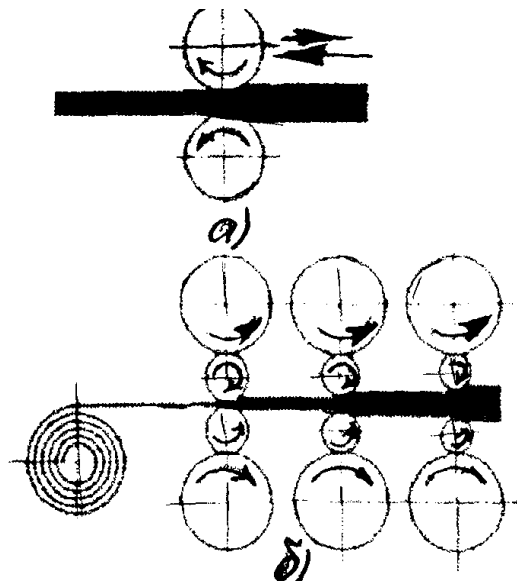


Рисунок 3.8 - Схеми прокатки листа:

- а - на толстолистовому реверсивному стані;
- б - на широкополосному безупинному стані

Окрім того, застосування МБЛЗ дозволяє підвищити коефіцієнт використання рідкого металу з 80-85% до 95-97%, при цьому різко зростає якість прокатних заготівель і відпадають витрати на ізложниці, витрата яких складає 15-20 кг на 1 тонну злитків. Резерви та можливості безупинного розливання в Україні використовуються вкрай недостатньо.

Прогресивним напрямком розвитку прокатного виробництва є будівництво високопродуктивних листопрокатних станів з наступним виготовленням з листа гнутих профілів, більш економічних, чим сортовий прокат.

В останні десятиліття показано, що застосування термомеханічної обробки, регульованої і контрольованої прокаток дозволяє в 1,5-2,0 рази підвищити міцність сталі та відповідно знизити масу труб, арматури й ін. виробів, одержуваних методом прокатки.

3.3 Виробництво алюмінію

Кольорові метали та сплави на їх основі використовують у всіх галузях

промисловості. Особливо зросла їх роль із розвитком електро- та радіотехніки, космічного й атомного машинобудування, радіоелектроніки. Використання кольорових металів зумовлене їх особливими властивостями: великими електро- та теплопровідністю, корозієстійкістю, жароміцністю тощо. Окрім того, вони легко вступають у взаємодію між собою та із залізом. Більшість з них дорогі, й тому в разі можливості їх замінюють на сплави чорних металів. Найширше використовують мідь, алюміній, цинк, свинець, олово, нікель, титан, магній тощо.

Технології отримання кольорових металів істотно відрізняються від технології отримання чавуна та сталі.

Чистий алюміній - це метал сріблясто-білого кольору, малої густини (2700 кг/м³), низької температури плавлення (660°C), має велику тепло-, електропровідність та корозієстійкість в агресивних середовищах. За електропровідністю алюміній посідає 4-те місце після срібла (Ag), міді (Cu), золота (Au).

У природі алюміній зустрічається у вигляді сполук. Алюміній надзвичайно активний відносно кисню. Саме тому 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 (з нього можна зробити фольгу товщиною 3 мкм, витягнути в тонкий, як павутинка дріт); він добре з'єднується з різними конструкційними матеріалами зварюванням, паянням, має велику корозієстійкість. Усе це та великі запаси сировини у земній корі роблять алюміній перспективним для виробництва. Алюміній і сплави на його основі використовують в електротехніці, будівництві, хімічному та харчовому машинобудуванні, літакобудуванні та космічній техніці.

У світі виробництво алюмінію зростає швидкими темпами. Це зумовлено тим, що вчені знайшли його сплавам нові сфери застосування - у майбутньому

ними заміняють сталі.

Сировина. 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 $Al(OH)_3$, $AlO(OH)$, Al_2O_3 , $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$. Якість бокситів визначається змістом 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 отримують електротермічними, кислотними та лужними 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. Домішки (оксид кальцію та ін.) у більшості випадків із кислотами не взаємодіють. Оксиди заліза взаємодіють із кислотами та забруднюють розчини. Окрім того, для виготовлення обладнання потрібна кислотостійка сталь, а це додатково збільшує витрати на виробництво глинозему. Тому кислотні 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. Існує два способи: 1) спосіб спікання та 2) спосіб Байера. На даний час близько 95% світового глинозему виробляють із бокситів за способом Байера,

оскільки він дешевший ніж спосіб спікання.

Технологічна система виробництва алюмінію складається з чотирьох самостійних підсистем: виробництво глинозему, криоліту, електродної маси та алюмінію з глинозему. Тобто, окрім мінералів, які містять алюміній, треба мати ще й плавиковий шпат для отримання криоліту та інших фтористих солей, необхідних для виробництва алюмінію. Потрібні чисті вуглецеві матеріали для виготовлення аноду та інших складових частин електролізної ванни, без яких неможливо отримати алюміній.

Схему технологічної системи виробництва алюмінію за способом Байєра можна подати у вигляді 8-ми елементів, структурними складовими яких є обладнання та технологічні процеси, які відбуваються у ньому або за його допомогою (рисунок 3.9).

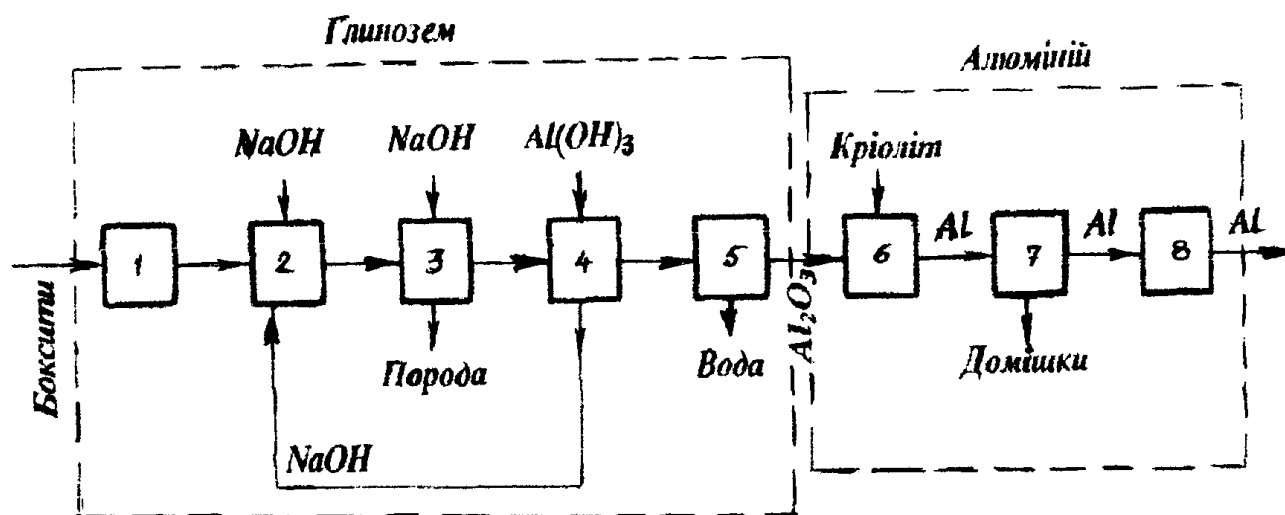
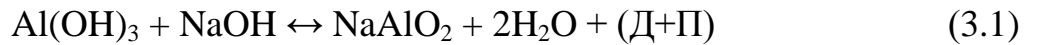


Рисунок 3.9 - Схема технологічної системи виробництва алюмінію за способом Байєра

1. Виробництво глинозему. Боксити сушать у печах (1), мелють у кульових млинах (2) із додаванням лугу (NaOH). Після розмелення до бокситів додають концентрований розчин лугу (NaOH) для перетворення гідрату оксиду алюмінію в алюмінат натрію. Це відбувається в автоклавах (від авто... і лат. clavis - ключ)

(3) за температури 105-250°C. 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 (NaAlO₂):



Алюмінат натрію розчиняється у воді, а домішки (Д) та порода (П) випадають в осад. Їх відфільтровують. Чим більше кремнезему міститься в бокситах, тим більше лугу треба для очищення розчину. Профільтрований розчин алюмінату натрію подають до випарника (4). Температуру розчину знижують до 45°C. Протягом 50-70 год. розчин перемішують. За цих умов утворюються кристали гідроксиду алюмінію (Al(OH)₃) і розчин лугу (NaOH):



Щоб прискорити процес розпаду алюмінату натрію до розчину додають дрібні кристали Al(OH)₃, які виконують роль центрів кристалізації, навколо яких ростуть кристали. Отримані великі кристали Al(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 (8) для отримання оксиду алюмінію - глинозему. Кальцинацію проводять за температури 1200°C:



Отриманий глинозем (Al₂O₃) містить домішки F₂O₃, SiO₂ тощо. Для виробництва 1 т глинозему необхідно розмолоти 2,0-2,5 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.

2. Виробництво алюмінію з глинозему. Глинозем - це стійка хімічна сполука з температурою плавлення 2050°C, кипіння - 2980°C. Відновлювати алюміній з його оксиду вуглецем не можна, оскільки цей процес закінчується утворенням карбіду алюмінію (Al_3C_4).

Не можна отримати алюміній електролізом водного розчину солей, оскільки на катоді виділяється лише водень.

Алюміній отримують електролізом глинозему, розчиненого в розплавленому кріоліті (Na_3AlF_6). Сюди ж додають AlF_3 і NaF . Процес відбувається в електролізері (6), схему якого подано на рисунку 3.10.

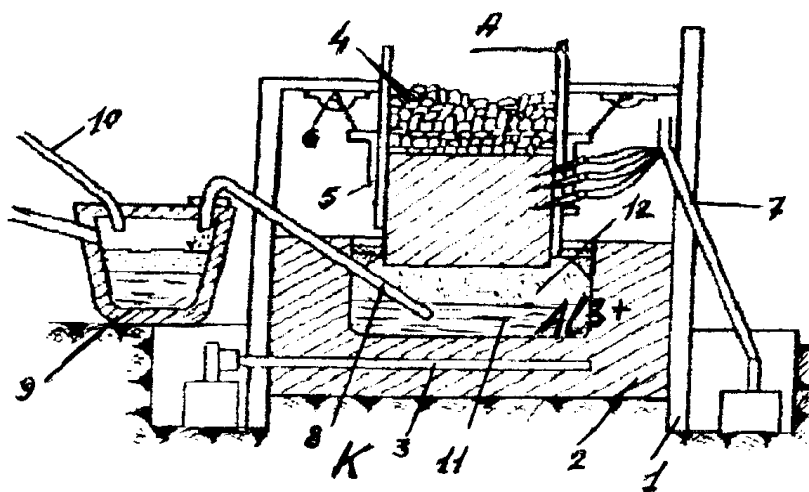


Рисунок 3.10 – Схема електролізера

Ванна електролізера окута сталлю (1), у середині викладена 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 згорає в атмосфері кисню та його нарощують сумішшю, яка складається з нафтового або смоляного коксу та кам'яновугільної

смоли. У верхніх шарах анодної суміші температура становить 100-140°C, а у нижніх - 360°C. За допомогою сталевих штирів (7) до анода підведено струм. Напруга на електродах становить 4,0-4,5 В.

Перед початком процесу ванну прогрівують 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°C.

Кріоліт і глинозем дисоціюють: на катоді розряджаються йони Al^{3+} й утворюється алюміній, а на аноді - йони 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.

Для виробництва 1 т алюмінію необхідно витратити 2 т глинозему, 0,7 т анодної суміші, 0,1 т кріоліту та 16-18 МВт·год. електроенергії. Витрати 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. Щоб зменшити кількість домішок, первинний алюміній **рафінують** (див. рисунок 4.9, елемент 7).

Рафінування проводять:

- продуванням розплаву первинного алюмінію хлором (втрачається до 1% алюмінію та отриманий алюміній містить 0,15-0,50% домішок); алюміній розливають у ізложниці (див. рисунок 3.9, елемент 8);

- електролізом - 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;

- зонним переплавленням - використовують для отримання алюмінію особливої чистоти. Виливок алюмінію поміщають у графітовий човник, а все разом - у кварцову трубку, всередині якої є вакуум. Зовні вздовж трубки повільно зі швидкістю 0,000166 м/с рухається вузький нагрівач. Це може бути один виток великочастотного 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 домішками. Після зонного переплавлення алюміній має особливу чистоту - 99,9999% алюмінію.