

Основи виробництва чорних металів

1.1. Сировина і матеріали виробництва чорних металів та підготовка їх до виробничого процесу.

На першому етапі металургійного виробництва видобувають із ґрунту корисні копалини, що являють собою різні руди. *Рудою називають корисні копалини, що видобувають із надр землі.* Їх називають по назвах металів, які містяться у руді, наприклад, залізні, мідні, мідно-нікелеві, хромітові та інші. Залізні руди є основною сировиною для виготовлення чавуну або заліза методами прямого відновлення.

Руду видобувають у шахтах закритим способом або у кар'єрах відкритим способом. Розмір видобутих шматків руд різний і залежить від способу видобування. Наприклад, при відкритому видобуванні розмір окремих кусків сягає кількох метрів, звичайний розмір більшості кусків 300 – 400 мм. Якщо руду будуть використовувати напряду у доменній плавці, то розмір шматків не повинен перевищувати 40 -50 мм для магнетитових руд і 70 – 100 мм для гематитових. Якщо руда йде на збагачення, то розмір часток не перевищуватиме 0,074 мм.

Машини, які застосовують для дроблення - дробарки, можуть зменшувати розмір шматочків до 5-6 мм. Більш дрібне дроблення називають подрібненням, його здійснюють в млинах.

Прийнято розділяти процес дроблення на чотири стадії:

- а) крупне дроблення – до розміра кусенів 100 – 300 мм;
- б) середнє дроблення (вторинне) – 100-300 до 40-60 мм;
- в) мілке дроблення - 40-60 до 8-25 мм;
- г) тонке подрібнення - 8-25 до 1мм та менше.

Залежно від характеристики руди, що видобувається, застосовують наступні стадії підготовки її до плавки: 1) дроблення; 2) сортування по класах крупності; 3) збагачення; 4) окислювальне обпалення; 5) усереднювання; 6) окускування.

Дроблення і подрібнення майже завжди супроводжуються грохоченням і класифікацією - процесами, мета яких - розділення кусків і частинок руди по крупності (по фракціях). Відмінність грохочення від класифікації полягає в тому, що при грохоченні проводять сортування кусків на ситах, а класифікацією розділяють дрібні шматочки і частинки (менше 1-3 мм) у водному або, рідше, в повітряному середовищі.

Збагаченням називають розділення руди, що готується до плавки, на *концентрат* з високим вмістом металу, що вилучають, і *хвости* з низьким його вмістом. Існують наступні основні способи збагачення корисних копалин: 1) промивання; 2) гравітаційне збагачення; 3) магнітна сепарація; 4) флотація.

Промивання ефективне для матеріалів з м'якою, особливо глинистою порожньою породою і щільними мінералами металу, що вилучають.

Гравітаційне збагачення засновано на відділенні корисних мінералів від порожньої породи по відмінності їх густини. *Магнітна сепарація* заснована на різній магнітній сприйнятливості залізовмісних мінералів і частинок порожньої породи.

Флотація заснована на різній змочуваності поверхні зерен окремих мінералів.

Окислювальне обпалення (нагрів руди до високих температур 900-1000 °C в повітряному середовищі), це проводять для видалення CO₂ із карбонатів сірки (у вигляді SO₂). Мета відновного обпалення (нагрів руди у відновній атмосфері) полягає в тому, щоб перетворити слабомагнітний оксид Fe₂O₃ в сильномагнітний Fe₃O₄ по реакції $Fe_2O_3 + CO(H_2) = Fe_3O_4 + CO_2(H_2O)$.

Усереднювання є перемішуванням великої маси рудного матеріалу для придання рівномірності складу по об'єму штабеля.

Отримані після збагачення руд тонкоподрібнені концентрати (<0,1 мм) не можуть бути направлені безпосередньо в доменну піч, оскільки вони не забезпечують необхідної *високої газопроникності* шихти. Перетворення дрібних частинок рудних концентратів і деяких інших матеріалів в більш крупні шматки складає основну мету процесів *окускування*.

Агломерація - це термічний спосіб окускування дрібних матеріалів для поліпшення їх металургійних властивостей, що здійснюється шляхом безпосереднього спалювання

дрібного палива в об'ємі залізорудного матеріалу за рахунок безперервного просмоктування повітря. Найдоцільнішим способом окускування тонкоподрібнених концентратів ($<0,1$ мм) є обкатування або отримання *обкотишів* (кульок діаметром 15-20 мм). Технологія виробництва залізорудних обкотишів для доменного процесу складається з двох стадій: 1) отримання сирих обкотишів з концентрату; 2) зміцнюючого обпалення.

Для отримання чавуну використовують *шихту*- суміш сирих матеріалів. Шихта для виробництва чавуну складається з агломерату, або обкотишів, підготовленого залізняку, палива і флюсів, узятих в певних співвідношеннях.

Підготовлений залізняк представлений різними оксидами заліза. *Паливо* тверде і газоподібне забезпечує необхідну температуру процесу і сприяє відновленню заліза і залізорудних матеріалів. *Флюси* служать для скріплення домішок і зниження температури плавлення *порожньої породи*.

1.2. Вихідні матеріали, що використовуються при виробництві чавуну

Залізняк є гірською породою, в якій залізо знаходиться у вигляді хімічних з'єднань з киснем, сіркою і іншими елементами. В руді знаходяться інші з'єднання, що не містять заліза, такі як кремнезем (SiO_2), глинозем (Al_2O_3) і ін. Вони утворюють *порожню породу*.

Залізняк містить в своєму складі основні залізовмісні мінерали: магнітний залізняк, червоний залізняк, бурий залізняк, шпатовий залізняк.

Магнітний залізняк складається головним чином з мінералу *магнетиту*. Ця руда містить 60-65% заліза і невелику кількість шкідливих домішок (сірки і фосфору), вона важка, чорного кольору, має високу густину і володіє магнітними властивостями.

Червоний залізняк містить *гематит*, мінерал, що представляє безводний оксид заліза (Fe_2O_3). Руда червоного кольору з різними відтінками, містить близько 60 % заліза і мало шкідливих домішок. Вона більш рихла і пориста, внаслідок чого залізо легше відновлюється.

Бурий залізняк є водним оксидом заліза і зустрічається у вигляді *лимоніту* ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) і *гетиту* ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Руда бурого кольору з відтінками, містить близько 55 % заліза і незначна кількість шкідливих домішок.

Шпатовий залізняк — це вуглекислі з'єднання заліза — *сідерити* (FeCO_3), найбідніший залізняк. Ця руда сірого, жовтуватого або бурого кольору, містить близько 40 % заліза.

Паливо. При виробництві чавуну в доменній печі джерелом теплоти є паливо: тверде і газоподібне, яке одночасно бере участь в хімічних реакціях відновлення заліза з шихтових матеріалів.

Якість палива характеризується перш за все його *теплотворною здатністю*, тобто кількістю теплоти, що

виділяється при спалюванні. Для твердого палива велике значення має зольність, воно повинне володіти високою міцністю, пористістю і мінімальним вмістом сірки.

Вказаним вимогам краще всього відповідає кокс. Він має високу теплотворну здатність, добре горить і розвиває високу температуру, містить близько 80% вуглецю і незначну кількість сірки і фосфору. Кокс є основним видом твердого палива при виробництві чавуну.

Одержують кокс шляхом сухої перегонки кам'яного вугілля, що коксується, в коксівних печах. Процес *коксування* полягає в нагріві цього вугілля без доступу повітря до температури 1000—1100° С.

Флюси

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

Для пониження температури плавлення порожньої породи і золи в доменну піч вводять *флюси*, які сплаваються з порожньою породою руди і золою, утворюючи *шлак*.

Самим споживаним флюсом при отриманні чавуну є вапно CaO , а також вапняк - CaCO_3 . В процесі нагріву шихти CaCO_3 під впливом температури дисоціює (розпадається на CaO і CO_2).

1.3. Вогнетривкі матеріали

Металургійні процеси відбуваються при високих температурах. Тому печі футерують *вогнетривкими матеріалами*, які повинні володіти механічною міцністю, не розм'якшуватися і не розтріскуватися при високих температурах, не вступати в хімічні реакції з пічними газами, шлаками, розплавленими металами.

Вогнетриви - це матеріали, температура оплавлення яких не нижче 500 °С. Захисне внутрішнє облицьовування робочого простору печей вогнетривкими матеріалами називається *футерівкою*.

Всі вогнетривкі матеріали підрозділяються на кислі, основні і нейтральні.

До *кислих* вогнетривких матеріалів відноситься динасова цегла кварцит, основу яких є SiO_2 - кремнезем (90-96 %). Його вогнетривкість 1670-1730 °С.

До *основних* вогнетривких матеріалів відносяться магнезит, доломіт і хромомагнезит. Вогнетривкість 1800-2400°С.

Магнезит (MgO) - тугоплавкий матеріал (температура плавлення 2000-2200 °С), володіє хімічною стійкістю.

Доломіт - містить в основному CaO і MgO . Його вогнетривкість 1800-1900 °С.

Хромомагнезит містить оксид хрому (Cr_2O_3), оксид магнію (MgO). Вогнетривкість хромомагнезиту 2000 °С,

він витримує коливання температури і не розтріскується при високих температурах.

Нейтральними вогнетривкими матеріалами є шамот і хромовий залізняк.

Шамот - недорогий вогнетривкий матеріал, що містить: 35-42 % (Al_2O_3), 45-64% (SiO_2) і малий вміст (Fe_2O_3). Шамот володіє достатньою вогнетривкістю (температура плавлення 1600-1700 °C), трохи розтріскується при високих температурах.

Хромовий залізняк є нейтральним вогнетривким матеріалом (вогнетривкість його 1850-1950 °C), не чутливий до змін температури.

Лещаді доменних печей футерують *вуглецевими блоками*, що складаються з суміші антрациту, коксу або графіту з мастилопеком, і високоглиноземистими вогнетривкими матеріалами.

1.4. Устрій доменної печі (ДП)

Виплавка чавуну ведеться в доменній печі, що представляє шахтну піч безперервної дії. Зверху в неї завантажуються шихта, яка по ходу плавки опускається до низу. Назустріч шихті вгору підіймаються гази.

Доменні печі мають висоту в середньому 30 м.

Робочим простором ДП називають контур внутрішнього простору ДП в осьовому вертикальному перетині, обмежений вогнетривкою кладкою. ***Конфігурація профілю*** ДП виконується з урахуванням зміни об'єму шихтових

матеріалів при нагріві і взаємодії з відновниками і флюсами в процесі отримання чавуну.

Верхня частина ДП зветься **колошником**. Через колошник в піч поступає шихта, а з печі відводяться колошникові гази. Для завантаження шихти є **колошниковий пристрій**. Нижче за колошник розташовується **шахта**. Щоб шихта, що нагрівається, опускалася в процесі плавки, шахта розширюється донизу. Найширша частина печі - **розпар** - має форму циліндра. Нижній усічений конус - **заплічки** - звужується донизу, для утримування шихти, що знаходиться в шахті і розпарі. В нижній частині доменної печі - **горні** - йде горіння коксу і збираються рідкий чавун і шлак. Нижня частина горна зветься **лещаддю**. У верхній частині горна рівномірно по колу розміщуються 12-20 **фурм**, через які повітродувними машинами під тиском подається в піч підігріте до температури 900-1100 °С повітря, що забезпечує горіння палива.

Частина горна, що розташована нижче фурм, називається **металоприймальником**; в ньому збираються чавун і шлак. В горні, нижче фурм, є **шлакова льотка** - отвір для випуску шлаку, а в нижній частині - **чавунна льотка** для випуску чавуну.

Основними технологічними характеристиками доменної печі є її корисна висота і корисний об'єм. **Корисною висотою** називається відстань від осі чавунної льотки до рівня опускання великого конуса засипного апарата.

Корисний об'єм - об'єм, заповнений шихтою з продуктами плавки. Доменні печі мають корисний об'єм до 5000 м³.

1.5. Допоміжні пристрої доменної печі

До допоміжних пристроїв доменної печі відносяться газоочисники, повітронагрівачі, підйомні і завантажувальні механізми.

Доменні, або колошникові гази, що виділяються під час плавки чавуну, містять значну кількість оксиду вуглецю - CO і інших горючих газів. Їх можна використовувати як паливо. Проте доменні гази забруднені рудним пилом і частинками коксу. Перед спалюванням їх потрібно очистити. Для цього колошникові гази по трубах направляють в газоочисники.

1.6. Доменний процес

В основі виробництва чавуну лежить процес відновлення заліза з його оксидів (в залізняку залізо може бути у вигляді Fe₂O₃, Fe₃O₄ і FeO). Відновники - оксид вуглецю, вуглець і водень, що утворюються в ході доменного процесу. В результаті фізико-хімічних процесів оксиди заліза втрачають кисень. Відновлене залізо має здатність розчиняти вуглець. Термодинаміка дозволяє вуглецю розчинятися в залізній матриці і, чим вища температура тим більше вуглецю розчиняється. У результаті утворюється сплав заліза з вуглецем (чавун). Але при зниженні температури розчинність вуглецю падає і цим

пояснюється наявністю вільного вуглецю у затверділому чавуні.

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

Шлак накопичується в горні поверх чавуну і випускається через шлакову лютку в шлаковозні ковші. Далі його переробляють на граншлак або використовують на будівництві та відсіпці доріг. На сучасних великих доменних печах шлак випускають через чавунну лютку після випуску чавуну.

1.7. Фізико-хімічні процеси в доменній печі, що супроводжують виробництво чавуну

В доменній печі в ході плавки спостерігаються два потоки: зверху вниз переміщаються шихтові матеріали; від низу до верху — нагріті відновні гази.

Знизу в піч через фурми поступає нагріте повітря. Кисень повітря взаємодіє з вуглицем коксу по реакції: $C + O_2 = CO_2 + Q$.

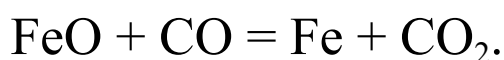
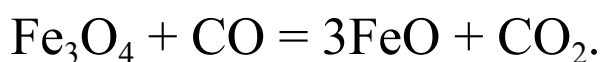
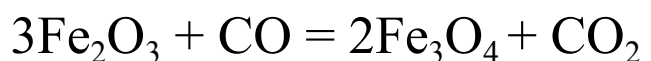
Реакція йде з виділенням великої кількості теплоти, і на рівні фурм температура досягає 1700—2000 °С. Реагуючи з розжареним коксом, CO_2 перетворюється в оксид вуглецю по реакції: $CO_2 + C = 2CO$.

Велика частина оксиду вуглецю йде на відновлення оксидів заліза, кремнію, марганцю і інших хімічних елементів.

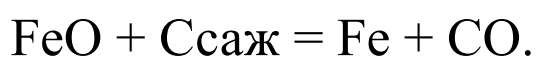
Завантажена в доменну піч шихта висушується, втрачає хімічно пов'язану з рудою вологу і стає більш пористою, що полегшує її відновлення.

Опускаючись нижче, шихта потрапляє в зони більш високих температур, де йдуть процеси відновлення заліза.

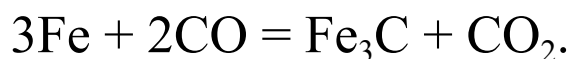
Процес відновлення заліза оксидом вуглецю, що має назву непряме відновлення, проходить ряд стадій:



Відновлення заліза з руди може відбуватися також за рахунок сажистого вуглецю (пряме відновлення) при температурі 950-1000 °С:



Відновлене залізо, контактуючи з оксидом вуглецю, при температурі 820-850 °С *науглецьовується*:



В нижній частині шахти і в розпарі кількість вуглецю в залізі досягає 1%. Утворюється карбід заліза Fe_3C , який сприяє науглецьовуванню заліза, вуглець розчиняється в залізі, утворює чавун, тим самим, знижуючи температуру плавлення залізовуглецевого розплаву.

Подальше насичення заліза вуглецем відбувається, коли залізовуглецевий розплав проходить через шар

розжареного коксу. Залізо зазвичай розчиняє до 3,5-4 % вуглецю.

1.8. Процеси відновлення інших елементів і шлакоутворення в доменній печі

Разом з оксидами заліза в шихті звичайно є оксиди марганцю, кремнію, фосфору і з'єднання сірки. В ході доменного процесу ці з'єднання вступають в хімічну взаємодію з вуглецем. Реакції ці йдуть з поглинанням теплоти, а тому *відновлення* вказаних домішок залізняку відбувається при температурі 1000-1200° С. Відновлені марганець, кремній і фосфор переходять в чавун.

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

При нормальному ході плавки в районі розпару починається утворення шлаку з порожньої породи залізняку, золи і сірки коксу.

Вапняк, що вводиться в шихту як флюс, при високій температурі розкладається на оксид кальцію (CaO) і вуглекислий газ (CO₂).

$$\text{CaCO}_3 + Q \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$$
 - реакція термічної дисоціації.

Оксид кальцію реагує з порожньою породою (оксидами кремнію, алюмінію і т. п.) і іншими домішками утворює шлак. Частково віддаляються в шлак і сірка (у вигляді з'єднання CaS), закис заліза і оксид марганцю.

Регулюючи склад шлаку, що утворюється, можна регулювати склад чавуну, що виплавляється.

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

1.9. Продукти доменного виробництва

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

Основним продуктом доменної плавки є чавун - сплав заліза з вуглецем та іншими хімічними елементами. Він використовується для *переробки* в сталь і отримання литих виробів. Чавун для литва у доменних печах виробляють дуже рідко тому, що його виробництво коштує дорожче, ніж переробного.

Побічним продуктом є шлаки, що підрозділяються на основні і кислі.

Побічним продуктом є і доменний або колошниковий газ. Температура газів що йдуть з доменної печі, 150-300 °С, їх теплотворна здатність 3300-4200 кДж/м³, таким чином, колошниковий газ є висококалорійним паливом і після очищення він використовується як паливо у повітрянагрівачах, металургійних печах, коксівних батареях.

2. Загальні відомості про виробництво сталі

Сталь — залізовуглецевий сплав із вмістом до 2,14% вуглецю. Сталь відрізняється від чавуну меншим вмістом вуглецю та інших постійних домішок: мангану (до 0,8 % Mn), силіцію (до 0,4 % Si), сірки (до 0,06 % S) і фосфору (до 0,07 % P).

Вихідний матеріал для одержання сталі — переробний чавун. Його приблизний хімічний склад: до 4,5 % C; до 1 % Mn; 3 % Si; до 0,15 % S і 0,3 % P.

Суть процесу переробки чавуну на сталь

Суть процесу переробки чавуну на сталь полягає у видаленні зайвої кількості домішок і насамперед зменшенні вмісту вуглецю окисненням і переведенням оксидів у шлак або газ (газ виходить в атмосферу).

Окиснюють домішки в чавуні двома способами: продуванням рідкого чавуну киснем або повітрям у конверторах; переплавленням чавуну з оксидами заліза (рудю і окалиною) в мартенівських і електричних печах.

Нині сталь отримують у кисневих конверторах, мартенівських і електричних печах.

Конверторний спосіб одержання сталі поділяється на киснево-конверторний, бесемерівський і томасівський. Найпрогресивнішим способом є киснево-конверторний. Цей спосіб застосовують у металургійній промисловості України з 1956 р. (у світі — з 1952 р.). У 1990 р. світове виробництво сталі за цим способом перевищувало 56 %, а в бесемерівських і томасівських конверторах разом — близько 3 %. Киснево-конверторна сталь майже зовсім

витіснила зі світової арени виробництво сталі в бесемерівських та томасівських конверторах.

На сучасному етапі в кисневих конверторах сталь отримують із рідкого білого чавуну, в мартенівських печах переважно з білого чавуну і брухту (скрапу) (близько 50%) і в електропечах - переважно з брухту (близько 85%).

Найбільш прогресивний і перспективний спосіб виробництва сталі - це киснево-конверторний. Шихтою для цього способу служить рідкий переробний чавун (понад 70%), скрап (до 25%), залізна руда (до 10%) і флюс (вапняк CaO + плавиковий шпат CaP_2). Переробний чавун, виплавлений у домнах, заливають у міксери, а звідти за допомогою ковшів у конвертори. Кисень вдувають через водоохолоджувану фурму під тиском 0,9 - 1,4 МПа протягом 12 - 25 хв.

Переваги киснево-конверторного способу виробництва сталі:

- висока продуктивність;
- за якістю виплавлена сталь не поступається мартенівській;
- не потрібно палива;
- низькі капіталовкладення на спорудження конверторів (особливо в порівнянні з мартенівськими печами);
- можна переробляти значну кількість (до 25%) скрапу;

можна отримувати і леговані сталі.

Мартенівська плавка - це процес виробництва сталі з

твердого чи рідкого чавуну, сталевого брухту, залізної руди з додаванням флюсу. Недоліками мартенівського процесу є велика витрата палива і тривалість виплавлення, а перевагами - універсальність процесу щодо застосування шихти і марок виплавлених сталей.

Виробництво сталі в електродугових печах є найдосконалішим способом. В електropечах одержують в основному леговані сталі високої якості, з яких виготовляють деталі машин та інструменти.

Електродугові печі є найпоширенішими завдяки високому коефіцієнту корисної дії, виплавленню різних сортів сталі, простоті будови і зручності в обслуговуванні.

Індукційні печі, порівняно з дуговими, мають низку переваг: відсутність електродуги дає змогу виплавити сталь з малим вмістом вуглецю і газів, поліпшений хімічний склад сталі, невеликі розміри печі дають змогу вміщувати їх у спеціальні камери і створювати будь-яку атмосферу.