

Лекція №20 ПРОЦЕСИ ДОМЕННОЇ ПЛАВКИ

Чавун виплавляють у доменних печах відновленням з руди заліза з наступним насиченням його вуглецем та іншими домішками.

Вихідні матеріали для виробництва чавуну

Для виплавляння чавуну в доменних печах використовують залізні, марганцеві і комплексні руди, паливо і флюси.

1. Руди. У залізних рудах залізо перебуває у вигляді безводного оксиду Fe_2O_3 (червоний залізняк, в якому до 65% заліза), водних оксидів $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (бурий залізняк, що містить до 60% заліза), магнітного оксиду Fe_3O_4 (магнітний залізняк, в якому заліза міститься 50...70%) або у вигляді вуглезалізної солі FeCO_3 (шпатовий залізняк, в якому заліза 30...45%). У руді є також пуста порода, основні складові якої – глинозем, кремнезем та ін. Залізні руди містять і деяку кількість шкідливих домішок – сірчисті, фосфористі, миш'яковисті сполуки.

Марганцеві руди складаються з оксидів марганцю і пустої породи. Вміст марганцю в них досягає 57%. Застосовують ці руди для підвищення марганцю в чавунах, що виплавляються, а також для вироблення спеціальних чавунів.

Комплексні руди, крім заліза, містять у собі і інші метали (хром, нікель, ванадій), які відновлюються в доменному процесі і полпшують властивості чавуну.

2. Паливо в доменній печі виконує дві важливі функції: при згорянні виділяє багато тепла; вуглець палива безпосередньо бере участь в реакціях відновлення руди.

В наш час, у доменному виробництві близько 98% чавуну виплавляють на кам'яновугільному коксі, а решту – на деревному вугіллі. Деревне вугілля використовують тільки при потребі виплавити чистий від сірки чавун для виготовлення високоякісної сталі.

3. Флюси в доменному виробництві застосовують для сплавлення в шлак пустої породи руди, золи палива і видалення їх з доменної печі. В якості флюсів використовують звичайний вапняк CaCO_3 і доломітовий вапняк $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$. З такими складовими пустої породи, як кремнезем і глинозем, а також з золою палива вони утворюють легкоплавкі хімічні сполуки.

Підготовка сировинних матеріалів до плавки

Виробництво чавуну потребує певної підготовки сировинних матеріалів як за якістю, так і за величиною їх кусків, розміри яких залежно від фізико – хімічних властивостей матеріалів мають бути 30...80 мм.

Найпростішою є підготовка коксу, від якого лише відсівається дрібняк. Флюси подрібнюють в щоківих або валкових дробарках і сортують за величиною кусків на спеціальних грохотах.

Підготовка залізних руд полягає в їх подрібненні, сортуванні (за розміром кусків на грохотах), усередненні і агломерації. Бідні руди спочатку збагачують, а потім окускують методом спікання.

Усереднення руд є операцією, за допомогою якої залізна руда, що надходить у піч, вирівнюється за якістю і складом.

Збагачення залізних руд здійснюється зменшенням вмісту в них пустої породи. В результаті збагачення дістають концентрати – продукти з підвищеним вмістом заліза.

Агломерування являє собою процес окусковування рудного дрібняку і концентратів за допомогою спікання їх у великі пористі куски, що називаються *агломератом*. Спікання руд проводять різними способами. Найбільш поширене спікання рудного дрібняку відбувається на машинах безперервної дії. Цим способом рудний рібняк і концентрати змішують з пиловидним паливом, зволожують і подають на конвеєрну стрічку, що складається з коробок з ґратчастим дном. Під час руху конвеєрної стрічки суміш у коробках запалюється газовим пальником. Щоб підтримати горіння, крізь запалену суміш просмоктується повітря. Паливо, що є в суміші, при згорянні дає температуру до 1300...1500⁰С. Внаслідок цього руда спікається і утворює міцний пористий агломерат. При спіканні в агломерат вводять і флюси, які застосовуються при доменному плавленні.

Будова доменної печі

Доменна піч є піччю шахтного типу (рис. 1). Внутрішній обрис стін, які обмежують робочий простір доменної печі, називають її *профілем*. Верхня частина 3 печі називається *колошником*. У колошнику є засипний апарат 1, до якого підводять газовідвідні труби 2. Засипний апарат призначено для завантаження в піч сировинних матеріалів, що подються на колошник за допомогою похилого скіпового підйомника, а газовідводи – для відведення колошникового (доменного) газу.

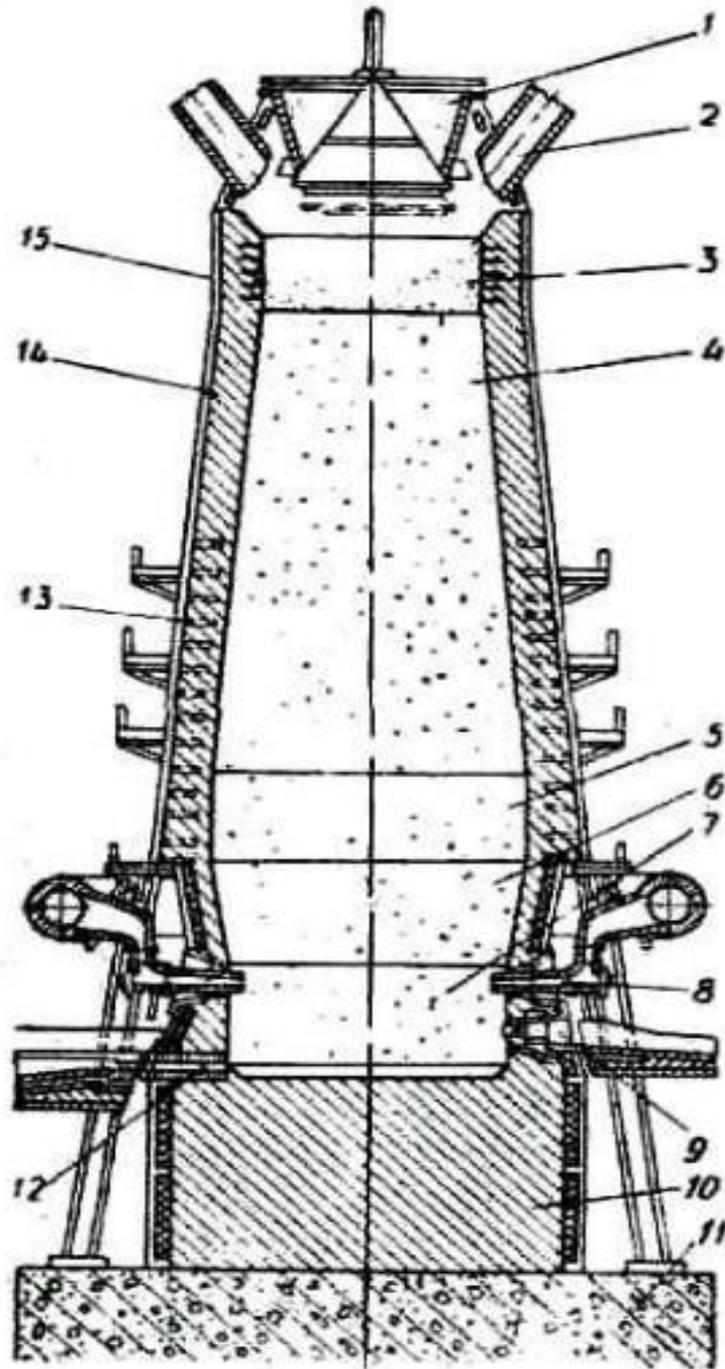


Рисунок 1 – Розріз доменної печі

Нижче колошника розміщено шахту 4. Це найбільша за об'ємом частина печі, яка має форму зрізаного конуса, що розширюється донизу. Така форма дає змогу сировинним матеріалам опускатись до низу печі і одночасно розпушуватись. У шахті відбувається підготовка сировинних матеріалів до плавки, відновлення заліза та інших елементів з оксидів руди, навуглецьовування заліза і плавлення утвореного сплаву (чавуну).

У нижній частині шахта закінчується розпаром 5. Тут плавляться і перетворюються на шлак порода руди, флюси і зола палива.

Під розпаром містяться заплечики 6, які мають форму зрізаного конуса, що розширюється догори. Тут об'єм завантажених у піч сировинних матеріалів різко зменшується, оскільки утворюються рідкі продукти плавлення. У твердому стані залишається тільки паливо і частина флюсу. У заплечиках закінчується процес шлакоутворення.

Нижня частина доменної печі називається горном 7. У верхній частині його по обводу розміщено фурми 8, через які в піч вдувається повітря, попередньо нагріте в повітрянагрівниках. Нижче фурмених отворів є шлаковальотка 9 для випускання шлаку. Дно горна називається подом 10. Під спирається на фундамент 11 печі. На рівні поду є чавунна льотка 12, через яку випускають рідкий чавун. Отже, верхня частина горна призначена для спалювання в ній палива, а нижня для збирання чавуну і шлаку.

Відстань від осі чавунної льотки до граничного рівня засипання сировинних матеріалів на колошнику називається *корисною висотою печі*, а відповідний об'єм робочого простору – *корисним об'ємом печі*.

Для кладки доменної печі застосовують вогнетривку шамотну цеглу 14, а також вуглецеві вогнетриви. Кладка печі вміщена в сталевий кожух 15 і охолоджується водою за допомогою спеціальних холодильників 13.

В нашій країні працюють домни – гіганти об'ємом печі 5000 м³.

Будова повітрянагрівачів

Для зменшення витрат палива і збільшення продуктивності доменної печі повітря (дуття), що подається до неї, спочатку нагрівається в спеціальних нагрівачах повітря.

Він являє собою башту діаметром 6...9 м заввишки до 40 м, яка закінчується сферичним куполом. Кожух 5 нагрівача повітря виготовляється з листової сталі і обкладається зсередини шамотною цеглою 4. У середині повітрянагрівач поділений вертикальною стінкою на камеру згоряння 3 і простір з вогнетривкою насадкою 2, яка має ряд каналів. У камеру згоряння крізь пальник 6 подаються очищений колошниковий газ і потрібна для його спалювання кількість повітря. Газоподібна суміш згоряє в камері і частково під куполом повітрянагрівача. Продукти згоряння проходять крізь насадку донизу, нагрівають її до 1100...1200⁰С і видаляються каналом 8 у димову трубу. Насадка нагрівається протягом 2 годин, після чого подачу газу і повітря в камеру припиняють, перекривають канал 8 шибером і від турбоповітропродувки каналом 7 подають холодне повітря, призначене для нагрівання.

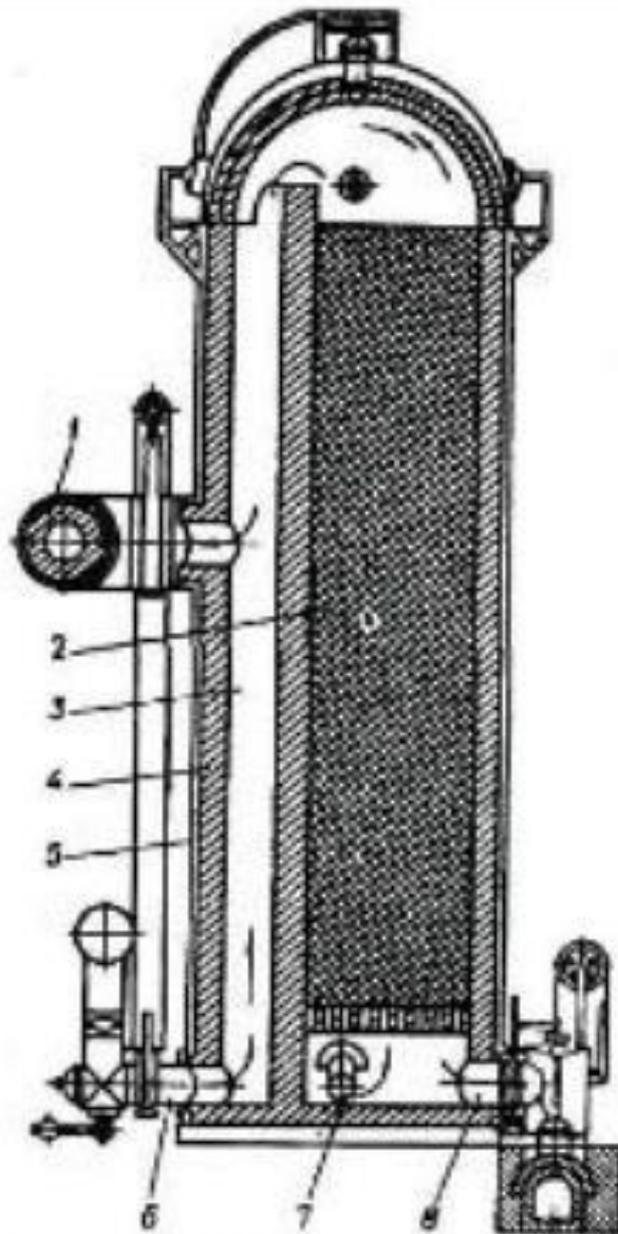


Схема нагрівача повітря

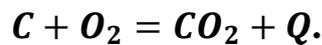
Холодне повітря проходить знизу вгору каналами розжареної насадки, нагрівається за рахунок її тепла до $1000...1100^{\circ}\text{C}$ і через трубопровід подається до фурм доменної печі під тиском $0,25...0,3$ МПа ($2,5...3,0$ Атм). Повітря нагрівається протягом *1 години*, після чого нагрівач повітря знову переключається для нагрівання газом.

Для безперебійного забезпечення доменної печі гарячим дуттям потрібно, щоб одночасно працювали три повітрянагрівача (два на газі, один – дутті). Тепер існує устаткування для підвищення температури дуття до $1200...1250^{\circ}\text{C}$. На 1 т чавуну, що виплавляється витрачається $3000...4000$ м³ підігрітого повітря.

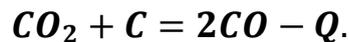
Доменний процес

Рух сировинних матеріалів і газів у доменній печі. У доменній печі відбувається зустрічний рух двох потоків: згори донизу – потік сировинних матеріалів (шихти) і знизу вгору – потік газів, які утворюються в результаті згоряння палива. Гарячі гази, проходячи навколо сировинних матеріалів, підігрівають їх і відновлюють залізо та деякі інші елементи з їх сполук, а потім відводяться через колошник. Відновлене залізо науглецьовується, плавиться і перетворюється на чавун, в якому розчиняються інші відновлені елементи: кремній, марганець і фосфор. Частково в чавуні розчиняються і сірчисті сполуки. Невідновлені оксиди пустої породи руди, золи палива і флюсу розплавляються і утворюють шлак.

Відновлення заліза з руди. Завдяки кисню повітря, який вдувається крізь фурми доменної печі, відбувається спалювання вуглецю палива за реакцією:



Температура в горні доменної печі в зоні фурм досягає 1800⁰С в міру наближення до колошника поступово знижується до 150...200⁰С (температура відхідних газів). Під час руху димових газів угору вуглекислий газ CO_2 натрапляє на вільний вуглець розжареного палива і при температурі 1000⁰С утворює окис вуглецю за реакцією:



Відновлення заліза з руди відбувається від дії на неї окису вуглецю (непряме відновлення) і частково водню, що утворюється від розкладання вологи дуття. Окис вуглецю є сильним відновником і тому, потрапляючи на оксиди заліза, ще в верхніх горизонтах печі, де температура невисока, починається відновлення. З підвищенням температури, в нижчих зонах печі, відновні реакції посилюються і відбуваються в наступній послідовності:



Вуглекислота, що утворилася в результаті непрямого відновлення, виноситься з колошниковим газом.

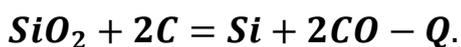
Пряме відновлення заліза з руди відбувається за допомогою твердого вуглецю і проходить особливо активно в більш низьких і гарячих зонах доменної печі (при температурі 950...1000⁰С). передусім за реакцією:



що відбувається при низьких і помірних температурах, утворюється твердий вуглець. У вигляді сажі він осідає в порах і тріщинах руди або агломерату, а при температурі, вищій за 950⁰С (при опусканні сировинних матеріалів у нижню зону печі), відновлює залізо за реакцією:

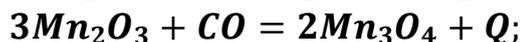


Відновлення кремнію. Кремній міститься в пустій породі руди в вигляді кремнезему. Відновлюється кремній за допомогою твердого вуглецю при температурі 1450°C за реакцією:



Отже, при відновленні кремнію поглинається тепло.

Відновлення марганцю з його вищих оксидів до закису відбувається, під дією окису вуглецю при помірних температурах 500...900°C за реакціями:



Відновлення марганцю з окису проходить за рахунок твердого вуглецю при високих температурах (таких, що перевищують 1100°C) за реакцією:



Відновлення фосфору. Фосфор, що надходить до плавки разом з матеріалами шихти, є шкідливою домішкою. При високих температурах (близько 1500°C) фосфорно-кальцієва сіль розпадається за реакцією:



Відновлений фосфор майже весь переходить у чавун і тільки незначна його частина – шлак. Вміст фосфору в переробних чавунах допускається до 0,07%.

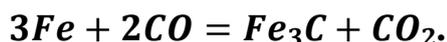
Видалення сірки. Сірка надходить до плавки також з шихтовими матеріалами. Частина сірки окислюється при згорянні палива в зоні фурм. У верхній частині доменної печі сірка переходить у газ SO₂. Залізо з FeS відновлюється за допомогою вапна і твердого вуглецю за реакцією:



Таким чином, при достатній кількості вапна і високій температурі в горні більша частина сірки, що є шкідливою домішкою, видаляється з металу і переходить в шлак. Деяка її частина переходить у чавун у вигляді сірчистого заліза. Вміст сірки в чавунах допускається в межах 0,03...0,05%. У доменній печі можуть відновлюватись також хром, титан, кобальт, ванадій та інші елементи в разі наявності їх у шихті.

Навуглецьовування заліза і утворення чавуну.

Відновлене в доменній печі залізо являє собою твердий і пористий продукт – так зване губчасте залізо. Внаслідок взаємодії з окислом вуглецю губчасте залізо навуглецьовується і утворюється карбід заліза (цементит):



Утворення цементиту можливе також внаслідок взаємодії губчастого заліза з твердим вуглецем у зоні високих температур:



Вуглець, потрапляючи в метал, знижує температуру його плавлення. Тому навуглецьоване залізо в інтервалі температур 1150...1200°C переходить у рідкий стан і краплинами стікає до горна печі. На шляху переміщення краплинок заліза відбувається додаткове насичення його вуглецем і розчинення в ньому відновлених марганцю,

кремнію, фосфору та інших елементів. У результаті на поді доменної печі збирається рідкий чавун.

Шлакоутворення в доменній печі відбувається в дві стадії. Первинний шлак (найбільш легкоплавкий) утворюється при температурі близько 1200°C і являє собою евтектику з глинозему, кремнезему і вапна. У другій стадії процесу шлакоутворення первинний шлак, стікаючи до горна доменної печі і попутно відігриваючись потоком висхідних гарячих газів, поступово змінює свій хімічний склад до заданого внаслідок розчинення в ньому золи коксу, флюсів і решток пустої породи залізної руди.

Вибір відповідного процесу шлакоутворення і хімічного складу шлаку істотно впливає на якість чавуну, що виплавляється. Склад шихти вибирають залежно від складу останнього.

Продукти доменної плавки

Продуктами доменної плавки є чавун, шлак і колошниковий газ.

Чавун випускають з доменної печі 6...10 раз на добу. У ковшах рідкий чавун подається до сталеплавильного цеху для переробки на сталь, або на розливальну машину для виливання чушок. Залежно від хімічного складу і призначення чавуни поділяють на переробні, ливарні і феросплави.

Переробний чавун застосовується для виробництва сталі. Залежно від способу переробки на сталь його поділяють на мартенівський, бесемерівський і томасівський.

Ливарний чавун застосовується для виготовлення литва і є найважливішим конструкційним матеріалом.

Феросплавами називаються напівпродукти металургійного виробництва – сплави заліза з кремнієм, марганцем, хромом і ін. елементами, що використовуються при виплавці сталі (для розкислення і легування рідкого металу скріплення шкідливих домішок, доведення необхідної структури та властивостей). До феросплавів належать феромарганець (70...80%Mn) і феросиліцій (9...13%Si), що застосовуються як розкислювачі при плавленні сталі, а також інші феросплави, які використовуються для легування сталей.

Хімічний склад виплавлюваних чавунів регламентується Державними стандартами (ГОСТ та ДСТУ).

Доменний шлак випускають з печі через шлакову лютку по окремому жолобу в шлаковивізні ковші. У середньому на 1 т чавуну, що виплавляється, утворюється 0,6 т шлаку. Він є цінним для народного господарства. Його використовують як сировину для виробництва цементу, цегли, щебінки та інших будівельних матеріалів; з нього виливають бруківку для доріг і виготовляють шлакову вату, яку використовують як теплоізоляційний матеріал.

Колошниковий газ. При виплавленні 1 т чавуну утворюється в середньому 3000 м³ колошникового (доменного) газу. При виході з доменної печі 1 м³ газу міститься 30...60

з пилю, що складається з руди, палива і флюсів. Після попереднього очищення від пилю колошниковий газ використовують для опалення повітрянагрівників і коксових печей, а також для потреб металургійного виробництва. Колошниковий пил використовують для агломерації.

2.7 Показники роботи доменної печі і шляхи підвищення продуктивності доменних печей

2.7.1. Показники роботи доменної печі

Продуктивність печі характеризується добовою виправкою чавуну в тоннах. Найбільша продуктивність буває при виплавлянні переробних чавунів, на 15...20% менша – при виплавлянні ливарних чавунів і в 2...3 рази менша – при виплавлянні феросплавів.

Коефіцієнт використання корисного об'єму печі. Одним з головних показників роботи печі є коефіцієнт використання її корисного об'єму (КВКО). Величина його визначається відношенням корисного об'єму печі $V, м^3$, до добової її продуктивності $T, т$:

$$КВКО = V/T м^3/т.$$

КВКО доменної печі для різних печей і сортів чавуну, що виплавляються, змінюється в межах 0,43...0,65 $м^3/т$. Чим менша абсолютна величина КВКО тим краще працює доменна піч.

Витрати палива. Дуже важливим показником роботи доменної печі є витрати палива на 1 т виплавленого чавуну. Витрата коксу на виплавляння 1 т чавуну становить: для переробних чавунів – 0,8...0,9 т, для ливарних – 0,9...1,1 т, для феросплавів = 1,2...2,0 т.

Шляхи підвищення продуктивності доменних печей

Підготовка сировинних матеріалів. Важливим засобом підвищення продуктивності доменних печей є поліпшення підготовки сировинних матеріалів до плавки: старанне сортування залізної руди і коксу за розмірами кусків; збагачення і усереднення залізної руди; приготування офлюсованого агломерату.

Застосування кисню. Кисень у доменних печах використовують для збагачення повітряного дуття і для рафінування рідкого чавуну безпосередньо в горні доменної печі. Кисневе дуття підвищує концентрацію окису вуглецю і прискорює відновні процеси, зменшує об'єм колошникових газів і сприяє утворенню високої температури в печі. Продування рідкого чавуну киснем безпосередньо в доменній печі дає змогу підвищити температуру чавуну приблизно на 50°C і зменшити вміст сірки.

Підвищення тиску газу під колошником досягають установлюючи в газопроводі особливий перепускний клапан, який залишає для проходження газів дуже вузькі отвори. При цьому тиск газів досягає 0,18 МПа (1,8 Атм). Досвід роботи доменних печей із застосуванням підвищеного тиску газів під колошником показав, що продуктивність збільшується, а витрата палива знижується.

Механізація і автоматизація доменного виробництва. Механізація трудомістких процесів, автоматичний контроль, регулювання і керування роботою доменної печі сприяють збільшенню її продуктивності. На сучасних доменних печах прилади і регулятори забезпечують автоматичне завантаження шихти, автоматично контролюють і регулюють тиск, температуру і вологість дуття, тиск газу на колошнику.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що відносять до сирих матеріалів металургійного виробництва чавуну?
2. Які залізні руди ви знаєте? Їх назва, склад, характеристика.
3. Яке паливо використовують в доменній плавці?
4. Як готують залізну руду до доменної плавки?
5. Що є залізо рудною сировиною в сучасному доменному процесі?
6. Що входить до складу шихти в доменній плавці?
7. В чому полягає суть доменної плавки?
8. Які основні процеси відбуваються в доменній печі?
9. Які продукти доменної плавки ви знаєте? Їх характеристика і використання.
10. Назвіть показники роботи доменних печей.