**Лекція 1**

 **Тема "Виробництво чавуну та сталі"**

Чавун виплавляють у вертикальних печах шахтного типа - доменних почах. Суть процесу здобуття чавуну в доменних печах полягає у відновленні оксидів заліза, що входять до склада руди, яку завантажують в піч, окислом вуглецю, воднем і твердим вуглецем, що виділяються при згоранні палива в печі.

**Пристрій і робота доменної печі.** Корисна висота доменної печі досягає до 80 м, або приблизно в 2,5-3 рази більше діаметру. Робочий простір печі включає колошник 6, шахту 5, розпарення 4, заплечики 3, горн 1, лещадь 15. У верхній частині колошника знаходиться засипний апарат 8, через який в піч завантажують шихту (офлюсований агломерат і окатиши).

Стінки печі викладають з вогнетривких матеріалів - з шамоту. Нижню частину горна і його підставу (лещадь) виконують з особливо вогнетривких матеріалів - вуглецевих (графітизованних) блоків. Для підвищення стійкості вогнетривкої кладки в ній встановлюють (приблизно на 3Д висоти печі) металеві холодильники, по яких циркулює вода. Для зменшення витрати води (для крупних печей витрата води до 70000 м3 в добу) застосовують випарне охолоджування, засноване на тому, що погло¬щаємоє тепло використовується для паротворення.

Кладка печі зовні поміщена в сталевий кожух завтовшки до 40 мм. Для зменшення навантаження на нижню частину печі її верхню частину (шахту) споруджують на сталевому кільці, що спирається на колони. Доменна піч (рис. 1) має сталевий кожух, викладений зсередини вогнетривкою шамотною цеглою.

Схема роботи доменного цеху сучасного металургійного завода приведена на рис. 2.

Шихтові матеріали поступають в бункери, розташовані на рудному дворі: офлюсований агломерат - з агломераційної фабрики, а кокс - від коксових батарей коксохімічного заводу. З бункерів шихтовиє матеріали подаються у вагон-ваги 1, на яких зважують певні порції шихти. З вагону-вагів кокс і агломерат передаються у вагонетку 3 ськипового підйомники. Ськиповий под'ємник є похилим рейковим мостом, по якому пересу-ваються дві вагонетки. Ськип піднімається сталевим канатом до верхньої точки рейкового моста і перевертається. Через завантажувальний пристрій (засипний апарат) 4 шихта потрапляє в доменну піч (рис. 2). Печі складається з колошника 5, шахти б, розпарення 7, заплечиків 8 і горна 9.

Дві ськиповиє вагонетки за допомогою лебідки пересуваються по похилому мосту 12 (рис. 1) до засипного апарату 8 і, перевертаючись, висипають шихту в приймальну воронку 7 розподільника шихти. При опусканні малого конуса 10 засипного апарату шихта потрапляє в чашу 11 а при опусканні великого конуса 13 - в доменну піч. Така послідовність роботи механізмів засипного апарату необхідна для запобігання виходу газів з доменної печі в атмосферу.



Рис. 1. Схема пристрою доменної печі і повітрянагрівача

Для рівномірного розподілу шихти в доменній печі малий конус і приймальна воронка після завантаження чергової порції матеріалів повертаються на кут, кратний 60°. Всі механізми засипного апарату і – підйомника. Агломерат, руду, флюс і кокс, що поступають в піч у певному співвідношенні, називають шихтою.

Доменні печі, як і всі шахтні печі, працюють за принципом протитечії. Зверху сходять шихтовиє матеріали, а знизу їм назустріч рухаються гази, що утворюються в процесі горіння палива.

В процесі роботи печі шихтовиє матеріали поступово опускаються вниз, а через завантажувальний пристрій в піч подаються нові порції шихтових матеріалів в такій кількості, щоб весь корисний об'єм печі був заповнений.



 Рис. 2. Схема роботи доменного цеху

Корисний об'єм печі - це об'єм, займаний шихтою від лещаді до нижньої кромки великого конуса засипного апарату при його опусканні. Сучасні доменні печі мають корисний об'єм 2000-5000 м3. Корисна висота доменної печі досягає 35 м. У верхній частині горна знаходяться фурмені пристрої 14 через яких в піч поступають нагріте повітря, необхідне для горіння коксу, і газоподібне паливо, в деяких випадках рідке або пилоподібне паливо. Попередне нагрівання повітря необхідний для зменшення втрат теплоти в печі. Повітря поступає в доменну піч з воздухонагревателей. Для нагріву повітря застосовують повітрянагрівач регенеративного типа. Усередині воздухонагревателя (рис. 1, праворуч) є камера згоряння 2 і насадка 4 що займає основний об'єм воздухонагревателя. Насадка викладена з вогнетривкої цегли 3 так, що між ними утворюються вертикальні канали. У нижню частину камери згорання до пальника 1 подається очищений від пилу колошниковий газ, який згорає і утворює гарячі гази. Гарячі гази, проходячи через насадку, нагрівають її і віддаляються з воздухонагревателя через димар. Потім подача газу до пальника припиняється, і по трубопроводу через насадку пропускається холодне повітря, що подається турбовоз-духодувною машиною. Доменна піч має декілька воздухо¬нагревателей: тоді як в одних насадка нагрівається горя¬чимі газами, в інших вона віддає теплоту холодному повітрю, нагріваючи його. Після охолоджування нагрітої насадки повітрям нагрівачі перемикаються. Повітря, проходячи через насадку воздухо - нагрівач, нагрівається до 1000-1200 °С і поступає до фурменого пристрою 14 доменній печі, а звідти в її робочий простір.

*Горіння палива****.*** Поблизу фурм 2 (рис. 1) вуглець коксу, взаємодіючи з киснем повітря, згорає:

С + О2 = СО2 + 393,51 кДж.

При високих температурах і у присутності твердого вуглецю коксу двоокис вуглецю нестійкий і частково переходить і окисел вуглецю;

СО2 + С = 2СО - 171,88 кДж.

Одночасно, на деякій відстані від фурм, йде реакція неповного горіння вуглецю коксу:

С - 1/2О2 *=* СО + 110,5 к Дж.

В результаті горіння коксу в доменній печі виділяється теплота і утворюється газовий потік, що містить CO, СО2 і інші гази. При цьому в печі трохи вище за рівень фурм температура стає більш 2000° С. Горячие гази, піднімаючись вгору, віддають свою теплоту шихтовим матеріалам і нагрівають їх, охолоджуючись до 400…300 °С у колошника. У зоні печі, де температура газон досягає 700…450 °С, частина окислу вуглецю розкладається з утворенням вуглецю сажі, що осідає на шихтових матеріалах:

2СО = СО2 + С↓

Остання частина газу, що складається в основному із CO, СО2, N2, Н2, СН4 (колошніковий газ) відводиться з печі по трубах і після очищення використовується як паливо для повітрянагрівачів.

Шихтовиє матеріали (агломерат, кокс) опускаються назустріч потоку газів і нагріваються. В результаті в них відбувається цілий ряд хімічних перетворень: віддаляється волога, з палива виділяються леткі речовини, а при прогріванні шихти до температури ~ 570 °С починається основний процес - відновлення оксидів заліза, що містяться в агломераті.

Відновлення оксидів заліза в доменній печі. Цей процес протікає в результаті взаємодії оксидів заліза з окислом вуглецю і твердим вуглецем коксу, а також воднем.

Відновлення твердим вуглецем називають прямим, а газами - непрямим. При температурах до 570 °С відновлення окислу заліза протікає по реакціях

ЗFe2О3 + СО = 2Fe3О4 + СО2;

Fе3О4 + 4СО = ЗFе + 4СО2.

При вищих температурах (750.900 °С) оксиди заліза відновлюються найінтенсивніше:

ЗFе2Оз + СО = 2Fе3О4 + СО2;

Fе3О4 + СО = ЗFеО + СО2;

FeО+СО = Fе + СО2.

При цих температурах з руди, що знаходиться в нижній зоні шахти доменної печі, утворюється тверде губчасте залізо. Деяка частина закису заліза опускається до рівня розпарення і заплечиків, де відновлюється твердим вуглецем коксу в результаті двох одночасно протікаючих реакцій:

СО2 + С = 2СО;

FеО + СО = Fе + СО3

FеО + C = Fe + CO

У реакціях відновлення заліза беруть участь також вуглець сажі і водень, особливо при введенні в доменну піч природного газу.

У міру опускання шихта досягає зони в печі, де температура складає 1000-1100 °С. При цих температурах відновлене з руди тверде залізо, взаємодіючи з окислом вуглецю, коксом і вуглецем сажі, інтенсивно науглерожіваєтся завдяки здатності заліза в твердому стані розчиняти вуглець:

ЗFе + 2СО = Fe3С + СО2;

ЗFe + С = Fе3С.

При насиченні вуглецем температура плавлення заліза знижується і на рівні розпарення і заплечиків воно розплавляється. Краплі залізовуглецевого сплаву, протікаючи по шматках коксу, додатково насичуються вуглецем (до 4 % і більш), марганцем, кремнієм, фосфором, які відновлюються з руди, а також сіркою, що міститься в коксі. Ці процеси протікають таким чином.

Марганець міститься в руді у вигляді МnО2, Мn2О3, Мn3О4. Ці з'єднання легко відновлюються до МnО. При температурі більше 1000 °С частина МnО відновлюється твердим вуглецем по реакціях

МnО+СО = Мn + СО2;

СО2 + С=2СО

МnО + С = Мn + СО

Одночасно марганець взаємодіє з твердим вуглецем і утворює карбід Мn3С, підвищуючи вміст вуглецю в сплаві. Інша частина МnО входить до складу шлаку.

Кремній, що міститься в порожній породі руди у вигляді SiО2, температурі вище 1100 0С також частково відновлюється твердим вуглецем:

SiO2 + С = SiO + СО;

SiO + С = Si + СО

SiO2 + 2С = Si + 2СО

Кремній, що утворився, розчиняється в залозі. Інша частина SiО2 також входить до складу шлаку.

Фосфор міститься в рудо у вигляді з'єднань (FеО) 3Р2О5 і (САО) 3Р2О5. Частково фосфат заліза відновлюється окислом вуглецю:

2Fе3 (РО4)2 + 16СО = 2Fе3Р + 2Р + 16СО2.

При температурах більш 1000° З відновлення йде за рахунок твердого вуглецю:

2Fе3(РО4)2 + 16С = ЗFе3Р + 2Р + 16СО.

При температурах вище 1300 °С фосфор відновлюється з фосфату кальцію:

(СаО)3Р2О5 + 5С = ЗСаО + 2Р + 5СО.

Фосфід заліза (Fе3Р), що утворився, і фосфор повністю розчиняються в залозі і входять до складу чавуну. Сірка присутня в коксі і руді у вигляді органічної сірки і з'єднань FeS2, FеS, СаSО4. Сірка летуча і тому частина її віддаляється з газом при нагріві шихти в печі. Сірка з коксу окислюється у фурм киснем дуття до SО2 і, піднімаючись з газами, відновлюється твердим вуглецем:

SО2+2С = S + 2СО.

При цьому частина сірки розчиняється в чавуні. Сірка є шкідливою домішкою і погіршує якість чавуну. Для видалення сірки прагнуть підвищити вміст СaО в шлаку. При цьому частина сірки у вигляді СаS віддаляється в шлак по реакціях

FеS + СаО=СаS + FеО,

FеО + С = Fе + СО.

Таким чином, в результаті процесів відновлення оксидів заліза, частини оксидів марганцю і кремнію, фосфатів і серністих з'єднань, розчинення в залізі С, Мn, Si, Р, S в печі утворюється чавун. У нижній частині печі утворюється шлак в результаті сплави оксидів порожньої породи руди, флюсів і золи палива. В умовах доменного процесу оксиди Аl2О3, СаО, МgО, що містяться в порожній породі руди, повністю переходять в шлак. У шлаку міститься також частина оксидів SiO2, що не відновилися, МnО, FеО і Саs. Шлак утворюється поступово, його склад змінюється у міру набрякання в гори; де він скупчується на поверхні рідкого чавуну завдяки меншій щільності. Склад шлаку залежить від складу шихтових матеріалів, що застосовуються, і чавуну, що виплавляється.

У міру скупчення чавуну і шлаку їх випускають з печі. Чавун випускають через 3-4 год., а шлак через 1,0-1,5 год. Чавун випускають через чавунну льотку 16 (див. рис. 1, отвір в кладці, розташований вище за лещаді), а шлак - через шлакову льотку 17. Чавунну льотку відкривають бурильною машиною, а після випуску чавуну закривають вогнетривкою масою. Чавун і шлак зливають по жолобах, прокладених по ливарному двору, в чугуновозниє ковши і шлаковозниє чаші, встановлені на залізничних платформах. Ємкість чугуновозних ковшів 90…140т. У них чавун транспортують у киснево-конвертерні або мартенівські цехи для переділу в сталь. Чавун, не використовуваний в рідкому вигляді, поступає на розливні машини. З ковша чавун через передавальний жолоб заповнює металеві форми-виливниці розливної машини і твердне в них у вигляді чушок-злитків масою 45 кг.

Часто рідкий шлак з доменної печі не зливають в шлаковозниє чаші, а для зручності подальшого використання піддають мокрій грануляції: на нього направляють струмінь води, соди дією якої він розсипається на дрібні гранули.

**Продукти доменної плавки**. У доменних печах отримують два рідкі продукти - чавун і шлак, а також колошниковий газ.

Чавун - основний продукт доменної плавки. У доменних печах отримують чавун різного хімічного складу залежно від його призначення.

***Передільний чавун*** виплавляють для переділу його в сталь в конвертерах або мартенівських печах. Він містить 4,0…4,4 % З; до 0,6…0,8 % Si; до 0,25…1,0 % Мn; 0,15…0,3 % Р і 0,03…0,07 % S. Передільний чавун деяких марок, предназ¬наченний для переділу в сталь в конвертерах, має понижений вміст фосфору (до 0,07 %).

***Ливарний чавун*** використовують для переплавки його на машинобудівних заводах при виробництві фасонних відливань. Він містить підвищену кількість кремнію (до 2,75…3,25 %). Окрім чавуну, в доменній печі виплавляють феросплави.

**Доменні феросплави** - сплави заліза з кремнієм, марганцем і іншими металами. Їх застосовують для раскисленія і легувань стали. До них відносяться: доменний феросиліцій з 9.13 % Si і до 3 % Мn; доменний феромарганець з 70…75 % Мn і до 2 % Si; дзеркальний чавун з 10…25 % Мn і до 2 % Si.

***Побічними продуктами*** доменної плавки є шлак і колошниковий газ, також використовувані у виробництві. З шлаку виробляють шлаковату, шлакоблоки, цемент, а колошниковий газ після очищення от пилу використовує як паливо для нагріву повітря, що вдувається в доменну піч, а також в цехах металургійних заводів.

**Найважливіші техніко-економічні показники.** Такими показниками роботи доменних печей є коефіцієнт використання корисного об'єму доменної печі (К. В. К. О) і питома витрата коксу. Коефіцієнт використання корисного об'єму печі (К. В. К. О. в м3/т) визначається як відношення корисного об'єму печі V (у м3) до її середньодобової продуктивності Р і тоннах виплавленого передільного чавуну.

К. В. К. О. = *V*/*P*

Чим вище продуктивність доменної печі, тим нижче К. В. К. О, який для більшості доменних печей в нашій країні складає 0,5-0,7.

Питома витрата коксу K - відношення витрати А коксу за добу до кількості Р в тоннах передільного чавуну, виплавленого за той же час:

У нашій країні питома витрата коксу в доменних печах складає 0,5-0,7; він є важливим показником роботи доменної печі, оскільки вартість коксу складає більше 50 % загальній вартості чавуну.

***Поліпшення техніко-економічних показників*** роботи доменних печей є одному з найважливіших завдань металургійного виробництва. Це завдання вирішується підвищенням продуктивності доменних печей шляхом поліпшення їх конструкцій, способів підготовки шихти, інтенсифікації доменного процесу.

Основним напрямом в розвитку сучасного доменного процесу є збільшення корисного об'єму доменних печей. Практика показує, що із збільшенням об'єму печей покращуються техніко-економічні показники їх роботи. Тому у нас в Росії експлуатують доменні печі об'ємом 2300 і 2700 м3 і вводять в буд доменні печі об'ємом 5000 м3. Такі печі виплавляють в добу більше 10 000 т чавуну.

***Поліпшення підготовки шихтових матеріалів*** - збагачення руд, вживання при плавці офлюсованого агломерату і окатишей забезпечує приріст виплавки чавуну і знижує витрату коксу. Наприклад, збільшення вмісту заліза в шихті на 1 % дає приріст виплавки чавуну на 3 % і знижує витрату коксу на 1,5-2,0 %; вживання агломерату підвищує продуктивність печей на 10-15 %, а заміна агломерату окатишами знижує витрату палива і додатково збільшує виплавку чавуну ще на 5 . 8 %. В той же час підвищення продуктивності доменних печей досягається інтенсифікацією процесу плавки за рахунок наступного:

1. підвищення тиску газу на колошнику до 0,18 м2, внаслідок чого знижується швидкість їх руху а шахті доменної печі, покращуються умови відновлення заліза, знижується витрата коксу і зменшується винесення колошникового пилу:
2. збагачення дуття киснем, завдяки чому підвищується інтенсивність горіння коксу, підвищується температура в горні доменної печі, прискорюються процеси відновлення кремнію і марганцю, що особливо важливе при виплавці доменних феросплавів і ливарних чавунів;
3. вдування в горн природного газу і вугільного пилу, що дозволяє понизити витрату коксу на 10 - 15%, збільшити продуктивність печей на 2 - 3% за рахунок підвищення відновної здатності газів.