

Лекція 3. Вплив металургійного виробництва на довкілля.

Металургією називають тісно пов'язані між собою галузі науки і промисловості, пов'язані з первинним отриманням металів. Як наука вона вивчає теоретичні основи одержання металів, необхідні для виробництва, фізико-хімічні і технологічні умови, розробляє нові технологічні процеси. Як галузь промисловості металургія займається одержанням металів із руд та інших видів сировини, що містить метали.

Металургія є матеріальною основою для розвитку всіх без винятку галузей народного господарства. Основною кінцевою метою металургійного виробництва є одержання металів з переробленої сировини у вільному металевому стані або у вигляді хімічної сполуки. На практиці це вирішується за допомогою спеціальних технологічних операцій і прийомів, що забезпечують відокремлення компонентів порожньої породи від цінних складових сировини. Ці операції і прийоми називаються металургійними процесами.

Виробництво чавуну

Чавун - високовуглецевий (2,14-6,67%, звичайно 3-4,5% C) нековкий сплав заліза з вуглецем, містить домішки марганцю (Mn, до 3%), кремнію (Si, до 4,5%), сірки (S, не більше 0,12%), фосфору (P, до 2,5%). Має добрі ливарні якості, твердіє з утворенням евтектики.

Чавун - найважливіший первинний продукт чорної металургії, використовується для переробки при виробництві сталі та як компонент шихти при вторинній плавці в чавунно-ливарному виробництві. Чавун вторинної плавки - один з основних конструкційних матеріалів; використовується як ливарний сплав. Широкому використанню чавуну в машинобудуванні сприяють його міцність та добрі ливарні якості. В сучасному машинобудуванні на долю чавунних деталей припадає близько 75% від загальної маси заготовок. Крім чавуну в доменній печі виплавляють феросплави, феромарганець доменний 70-75% Mn і до 2% Si, його використовують для розкислення сталі.

Сірий чавун - найбільш поширений у використанні вид чавуну (машинобудування, сантехніка, будівельні конструкції) - має включення графіту пластинчастої форми. Його якості залежать від структури металевої

основи, форми, розміру, кількості та характеру розподілу включень графіту. Велика конструкційна особливість сірого чавуну - більш високе, ніж у сталі, відношення границі текучості до границі міцності на розтягання.

Білий чавун являє собою сплав, у якому надлишковий вуглець знаходиться в зв'язаному стані у вигляді карбідів заліза Fe_3C (цементит) або спеціальних карбідів (у легованому чавуні), який внаслідок низьких механічних якостей та крихкості має обмежене використання для деталей простої конфігурації, що працюють в умовах підвищеного абразивного зносу.

Половинчастий чавун містить частину вуглецю у вільному стані у вигляді графіту, а частину - у зв'язаному (карбіди). Використовується як фрикційний матеріал, що працює в умовах сухого тертя (гальмові колодки), а також для виготовлення деталей підвищеної зносостійкості (прокатні валки).

Ковкий чавун. Відливки білого чавуну підлягають графітизуючому випалу, внаслідок чого цемент розпадається, і графіт, що утворюється, набирає форми пластівців. Ковкий чавун має меншу чутливість до надрізів, задовільно працює при низьких температурах. Механічні якості визначаються структурою металевої основи (вона може бути феритною, феритно-перлітною, перлітною), кількістю та ступенем компактності включень графіту. Головним чином ковкий чавун використовується в автомобіле-, тракторо- та сільгоспмашинобудуванні.

Високоміцний чавун характеризується кулеподібною формою включень графіту, отримують його шляхом модифікування рідкого чавуну присадками Mg, Ce, Y, Ca та інших елементів. Має добрі ливарні та технологічні якості (рідинотекучість, лінійна усадка, обробка різанням). Використовується для заміни сталевих ливарних та ковких деталей, в машинобудуванні.

Вермікулярний чавун. Високоміцні чавуни, які мають включення так званого вермікулярного графіту, за якостями займають проміжне положення між чавуном з кулеподібним та чавуном з пластинчастим графітом. Він має добрі технологічні якості (невелика об'ємна усадка, висока теплопровідність). Використовується в дизелебудуванні та інших галузях машинобудування.

Леговані чавуни. Для покращення міцнісних, експлуатаційних характеристик або надання особливих якостей до складу чавуну вводять

легуючі елементи (Ni, Cr, Cu, Al, Ti, W, V, Mo та ін.), також ними можуть бути Mn (вміст більше 2%) та Si (вміст більше 4%). Леговані чавуни класифікують відповідно до вмісту основних легуючих елементів - хромисті, нікелеві, алюмінієві та ін.; за ступенем легування: низьколеговані (сумарна кількість легуючих елементів менш як 2,5%), середньолеговані (2,5-10%), високолеговані (більше 10%).

Одержання чавуну.

Одержання чавуну в доменній печі та переробка чавуну на сталь - основа металургії.

Металургійний цикл (шлях від залізної руди до готового металу) починається з підготовки руди. Для одержання чавуну використовують червоні, бурі та магнітні залізняки (оксиди) і залізний шпат (карбонат). *Первинна підготовка* має велике значення: чим ретельніше підготувати руду до доменної плавки, тим вища продуктивність печі, нижчі витрати палива та вища якість чавуну, що виплавляється. Схема її складна і має такі принципові процеси: подрібнення, магнітна сепарація, флотація, усереднення, окускування залізної сировини, отримання окатишів.

Основним паливом для доменних печей є кам'яновугільний кокс. Для зниження витрат та інтенсифікації виплавки чавуну в доменну піч вдувають природний газ, а також додають мазут та вугільний пил.

В усіх залізних рудах, а також в золі від коксу містяться кремнезем та глинозем у надлишкових кількостях, тому в шихту як флюс додають вапняк або доломіт, вони сприяють шлакуванню сірки - шкідливої домішки в чавуні.

Завантаження доменної печі коксом, рудою, флюсом (або кокс + окатиші) здійснюється окремими порціями - колошами.

Одержання чавуну можна описати *загальною схемою*: підготовка руди - завантаження печі - доменний процес - чавун.

Кінцевими продуктами доменної плавки є чавун, шлак, що випускається з печі у вогненно-рідкому стані, та доменний газ. Чавун - основний продукт виробництва, а шлак і доменний газ - побічні.

Мета доменного виробництва полягає в отриманні чавуну. Характеристики і класифікація чавуну описані вище.

Доменний шлак - другорядний продукт плавки, утворюється в доменній печі з флюсів, золи коксу, пустої породи руди та агломерату. Його кількість визначається багатством шихти та вмістом Fe і необхідної основності. Чим бідніша на Fe шихта, тим вища основність і більший вихід шлаку з печі. Звичайно при виплавленні переробного та ливарного (використовують у чавуноплавильних цехах для відливних чавунних виробів) чавунів вихід шлаку складає 0,3-0,6 т на 1 т чавуну. З гранульованого шлаку виготовляють шлакобетон, шлакову цеглу, при гранулюванні паром - шлакову вату для теплової ізоляції. Але це часткове використання. Більша частина шлаків є забруднювачами.

Доменний газ (колошниковий) - газ, що виходить з печі через її верхню частину - колошник. Він складається: CO (25-34%), H₂ (1-3%), решта CH₄, CO₂, N₂. Після очистки від пилу використовується як паливо для підігріву насадок повітрянагрівачів, сталевих зливків, коксових батарей, для опалення котлів та ін. Теплота згоряння 3500-4000 кДж/м³ (850-950 ккал/м³).

Ресурсозабезпечення. Паливо доменної печі є не лише джерелом тепла, але й реагентом, який забезпечує відновлення заліза з руди та утворення чавуну.

Основні вимоги до палива: висока теплотворна здатність, малий вміст золи та вологи, чистота за вмістом шкідливих домішок, висока механічна міцність, пористість для забезпечення інтенсивного горіння. Воно повинно бути недефіцитним і недорогим.

Головними видами палива є кам'яновугільний кокс та природний газ. Окрім цього, потрібні флюси, вода, повітря, вогнетривкі та формувальні матеріали; особливе місце займають руди.

Кам'яновугільний кокс - калорійний, не розтріскується при нагріванні, має високу пористість та реакційну здатність. Його отримують зі спеціального коксівного вугілля, з вмістом легких речовин 18-26%. При коксуванні відбувається вилучення легких речовин, а тверда маса спікається і утворює

пористе паливо - кокс. Має теплоту згоряння 6500-7500 ккал/кг (27,2-31,4 МДж/кг) і містить 0,5-1,8% сірки та 6-16% золи. Побічним продуктом є коксовий газ. На виплавку 1 т чавуну витрачається 550 кг коксу. При цьому вартість коксу складає 45-55% собівартості чавуну.

Природний газ - найбільш ефективне паливо, теплота згоряння 8000-12000 ккал/м³ (36,6-50,5 МДж/м³), вдування 60-100 м³ природного газу на 1 т чавуну зменшує витрати коксу на 10-15%, підвищує відновлювальну здатність доменних газів, забезпечує більш високу продуктивність доменної печі.

Як паливо можна застосовувати ще і вугільний пил та мазут.

Повітря використовують для забезпечення горіння палива та отримання високих температур. Його нагрівають до 980-1200°C і вдувають в доменну піч; разом з повітрям часто подається до 32% кисню, який обумовлює підвищення температури та різко прискорює плавку.

Вода є необхідним елементом в доменному виробництві. Її застосовують для охолодження домен, при цьому витрачається 1 м³ за годину на 1 м³ корисного об'єму печі або 20-25 м³ на 1 т чавуну. Температура води в охолоджувальних пристроях підвищується в середньому на 5-8°C (в деяких зонах печі на 15-30°C); відпрацьована вода після охолодження в спеціальних басейнах або градирнях знов подається в охолоджувальну систему печі.

Основні вимоги до якості води доменного виробництва: рН 9,5-10,8; вміст завислих домішок до 2000 мг/л.

Вогнетривкі матеріали використовують у вигляді цегли для кладки доменних печей, порошоків для наварки подів та відкосів металевої ванни печей, для протипригарного фарбування ливарних форм, пробок для ківшиків, як будівельний матеріал, у фізико-хімічних процесах, які протікають в металургійних агрегатах.

Вогнетривкі матеріали повинні відзначатися вогнетривкістю, тобто опором пом'якшенню та деформації при високих температурах; будівельною міцністю, термостійкістю (стійкість проти розтріскування при частих та різких змінах температури), хімічною стійкістю, низьким коефіцієнтом термічного розширення.

За хімічним складом вогнетривкі матеріали поділяють на кислі, напівкислі, напівосновні, основні та нейтральні. Ці назви зумовлені вмістом кислих або основних окисів у вогнеопорі.

Для доменних печей зі слабокислих вогнетривів використовують шамот. Його використовують для футеровки доменних печей, попередньо нагрівши до 1610-1750°C. А також нейтральні вуглецеві вогнетриви, які виготовляють з графіту та шамоту на глиняній зв'язці. Вогнетривкість їх перевищує 2000°C. Використовуються для кладки лещаді та для нижньої частини шахти доменних печей.

Формувальні матеріали - інші матеріали. Вони бувають основними (піски та глини) і допоміжними. Піски і глини є гірськими породами і розрізняються між собою за вмістом так званих глинистих складових. Кварцеві піски містять до 2% глинистої складової, глинисті - 2-50%. Замість звичайних формувальних глин у суміші іноді використовують бентонітові глини, часточки яких мають велику здатність до набухання, вода проникає всередину їх, тому ці глини мають в два-три рази більшу сполучну здатність, ніж звичайні.

Формувальна суміш складається з кварцового піску, глини, води, протипригарних матеріалів. До допоміжних матеріалів відносяться зв'язувальні стержневі закріплювачі, протипригарні матеріали (кам'яне вугілля, мазут, графіт, фарби та ін.), які призначені для покриття форм та стержнів або як добавки до сумішей.

Руди

Залізні руди - гірські породи, які складаються з хімічних сполук заліза (Fe_2O_3 ; Fe_3O_4 ; $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$; FeCO_3) та порожньої породи (піщаник, вапняк, доломіт).

Вимоги до руд: високий вміст заліза - 30-70%; добра відновлюваність; склад та стан шлаку, які забезпечують легкість її видалення у вигляді шлаку; задовільна кускуватість; низька вартість.

Найважливішими залізними рудами є:

- магнітний залізняк (магнетит) - магнітний окис заліза, містить 72,4% Fe у вигляді магнетиту (Fe_3O_4), в руді 55-60% Fe;

- червоний залізняк (гематит) - безводний окис заліза Fe_2O_3 (70% Fe), руда містить 58-60% Fe. Це найбільш розповсюджений вид руди в світі;
- бурий залізняк - водні окиси заліза, найчастіше $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (52-66% Fe), в руді 30-50% Fe;
- шпатовий залізняк (сидерит) - карбонат заліза FeCO_3 (48,3% Fe), в руді 30-45% Fe.

Залізисті кварцити - магнетит та гематит містять 35-40% Fe з кремнистою порожньою породою.

Крім цих руд, використовують **комплексні руди**:

- хроміти, які містять крім заліза 37,5% окису хрому;
- хромонікелеві залізні руди (1,5% хрому та 0,5% нікелю);
- титаномагнетити (0,4% ванадію та до 13% двоокису титану).

Також в доменній плавці використовують відходи металургійного виробництва: скрап, залізисті та марганцеві шлаки, спечений рудний пил, окалину, недогарки та інше.

Марганцеві руди використовують для введення марганцю в склад чавуну. Вони містять 25-50% Mn у вигляді окислів MnO_2 , Mn_2O_3 , Mn_3O_4 .

Флюси використовують для оплавлення важкоплавкої порожньої породи руд та золи палива з утворенням низькоплавкого шлаку спеціального складу, який легко витікає з доменної печі, а також для часткового видалення сірки в шлак. Оскільки найчастіше порожня порода руди має кислотний характер, у якості флюсів використовують основні матеріали - вапняк CaCO_3 , доломіт $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$. Якщо склад породи має основний характер використовують кварц, піщаник та ін. Флюси не повинні містити значні кількості сірки та фосфору, не більше 2-4% кремнезему та глинозему, які збільшують витрати флюсів та кількість утвореного шлаку; вміст кальцію - не менше 50-52%. Флюси перед плавкою підлягають подрібненню на шматки розміром 30-80 мм.

Витрати руди на 1 т чавуну, що виплавляється, змінюються в широких межах; вони залежать від вмісту заліза в руді та замінювачів руди в шихті, а також від виносу колошникового пилу, який при роботі на шматковій руді в

міцному агломераті не перевищує іноді 30-50 кг на 1 т чавуну, а при роботі на пилуватій руді досягає 200-300 кг і більше.

Витрати флюсу змінюються від 0 при самоплавці шихти до 1 т на 1 т чавуну та більше при дуже бідній руді з кислотою порожньою породою.

Витрати води. Для охолодження доменних печей витрачається велика кількість води (приблизно 1 м³ за годину на 1 м³ корисного об'єму печі або 20-25 м³ на 1 т чавуну, що виплавляється). Температура води в охолоджувальних приладах збільшується в середньому на 5-8°C (в деяких зонах печі на 15-30°C).

Доменне виробництво має такі питомі витрати води (м³/т чавуну): всього - 60, в тому числі свіжої - 4,5, і це складає 25% від всього металургійного виробництва.

ХАРАКТЕРИСТИКА ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ

Спожиті ресурси доменного виробництва впливають на навколишнє середовище.

Чавуноплавильні агрегати є одним з основних джерел *забруднення атмосфери*. В ливарному виробництві повітря забруднюється, головним чином, пилом, окисом вуглецю та сірчанам ангідридом. Джерелами інтенсивного пилоутворення є обладнання: решітки, барабани, дробилки, сита. Встановлено, що ливарний цех з річною програмою 100 тис. т литва, обладнаний пилоуловлювачами з ефективністю очистки 70-80%, викидає в навколишній повітряний басейн до 1000 т пилу щорічно.

При утворенні коксу побічним продуктом є коксовий газ, який потрібно попередньо очистити. Для кращого горіння палива в доменну піч подається додаткове повітря, яке також потребує очищення від шкідливих речовин перед випуском через нижню частину повітрянагрівача в димар.

Доменний газ: 3,5-3,6% водню, 0,1-0,4% кисню, 0,1-0,6% метану, 55% азоту, 25-32% оксиду вуглецю, 10-11% діоксиду вуглецю, значна кількість пилу. На кожну тонну чавуну утворюється приблизно 2000 м³ доменного газу. Він є добрим паливом після очистки від пилу, використовується в доменному цеху для опалення повітрянагрівачів, тому основна кількість доменного газу не потрапляє в атмосферу.

Джерелом надходження пилу в навколишнє середовище є вентиляційні гази підбункерних приміщень доменних цехів. Ці гази містять 2-5 г/м³ пилу, для очистки від якого використовують електрофільтри; вони знижують вміст пилу в газах, що відкидаються, до 60-80 мг/м³. Викиди ливарного двору, які містять пил та гази (CO₂, SO₂), також очищуються в електрофільтрах, ефективність пилоуловлювання 93-95%.

Джерелами забруднення *стічних вод* від доменного виробництва є такі операції: очистка доменного газу, гідравлічне збирання осадженого пилу та просипи в підбункерному приміщенні, грануляція доменного шлаку та розливка чавуну.

Доменне виробництво скидає 17,5% від загальної кількості стічних вод металургійного виробництва [5].

Забруднені стічні води утворюються: на розливних машинах чавуну у кількості 350 м³/т, в газопроводах коксового та змішаного газу - конденсат 20-40 л на 1000 м³ газу, грануляції доменного шлаку - 2 м³/т рідкого чавуну, гідроприбиранні пилу в підбункерному приміщенні - 300-360 м³/т чавуну.

При очистці 1000 м³ газу утворюється 4-6 м³ стічних вод, які містять пил (часточки руди, коксу, вапняку, агломерату), хімічні сполуки (сульфати, хлориди), розчинені гази.

Для охолодження доменної печі води потрібно до 4000 м³/год. Однак очистити таку кількість води від накипоутворювачів та вапна практично неможливо.

Доменне виробництво утворює 1% брухту та відходів від усього металургійного виробництва. Джерелами утворення брухту та відходів головних переробок доменного виробництва є випуск та розливка чавуну на канавах та в чавуновізних ковшах (залишки, брак). Розглянемо це за видами продукції:

- при виробництві чавуну - 7-10 кг/т;
- чавунного литва - 350 кг/т;
- відливка чавунних труб - 170-200 кг/т.

Шлак - забруднювач поверхневого шару літосфери - ґрунту. Деякі дані про промислові тверді відходи:

- чорний метал - до 87500 т/рік;
- шлак, окалина, зола - 40000 т/рік;
- шлами, флюси - 600 т/рік.

Виробництво сталі

Сталь є основним конструкційним матеріалом для машинобудування, промислового будівництва, транспортних засобів і т. ін. Швидкий розвиток промисловості і сільського господарства був би неможливий без задоволення потреб в сучасній машинній техніці і металевих матеріалах.

Внаслідок своєї розповсюдженості в природі та відносно малої вартості способів отримання заліза і його сплавів вони займають головне місце в народному господарстві [11].

Залізо в чистому вигляді в промисловості отримують і споживають в незначній кількості. Основну масу заліза отримують і споживають у вигляді сплавів - сталі і чавуну, що називаються чорними металами. Частка сталі в загальному споживанні чорних металів складає десь 90%, тобто сталь є основним видом металу, що використовується для створення сучасної техніки. Це пояснюється тим, що, по-перше, сталь є чудовим конструкційним матеріалом (має високу міцність і стійкість до зносу, добре зберігає форму в різних виробках, відносно легко піддається обробці тиском, зварюванню і т.ін.); по-друге, основний компонент сталі - залізо - є розповсюдженим елементом в земній корі (займає друге місце після алюмінію), знаходиться у вигляді великих шарів залізовмісних мінералів, що називаються *рудами*. Залізо може бути відносно легко отримано з руд, в яких воно звичайно знаходиться у вигляді оксидів.

Сталь - це сплав заліза з вуглецем та іншими хімічними елементами. В цьому сплаві залізо є основою (розчинником), а інші елементи - домішками, розчиненими в залізі. Домішки можуть впливати на властивості сталі як позитивно, так і негативно, тому їх поділяють на корисні і шкідливі. Корисні домішки в основному впливають на властивості кристалів (зерен), а шкідливі

домішки погіршують міжкристалічні зв'язки. В сталях більшості марок корисною домішкою є вуглець. Такі сталі називають **вуглецевими**. Вміст вуглецю у вуглецевих егелях найчастіше становить 0,05-0,5%, але іноді може досягати 1,2% (теоретично до 2,14%). У вуглецевих сталях корисними домішками можуть бути марганець (0,3-0,6%) і кремній (0,15-0,3%). Вміст шкідливих домішок, якими звичайно є сірка, фосфор, кисень і азот, обмежуються сотими і тисячними долями відсотка.

Змінюючи вміст вуглецю в залізовуглецевому сплаві і піддаючи його різним видам термічної обробки, можна отримати сталі з різними механічними властивостями. Найбільш високоміцною сталлю з $dm = 3,5-4$ ГПа (dm - тимчасова межа міцності) є високовуглецева (нелегована) сталь. Але вуглецеві сталі мають істотні недоліки: висока критична швидкість гартування (найменша швидкість охолодження, при якій утворюється мартенсит); погана прожарюваність (глибина проникнення гартування від охолоджуваної поверхні до центра); погана антикорозійна стійкість тощо.

Введення в сталь у певній кількості елементів, названих легуючими, дозволяє позбавити вказаних недоліків вуглецевої сталі, покращити її механічні властивості, а також отримувати ті чи інші особливі фізико-хімічні властивості, яких вуглецева сталь не має. Таку сталь називають *легованою*. Вплив легуючих елементів на властивості сталі різноманітний, тому додаючи їх у певній кількості і сполученнях, можна отримати сталі з різними властивостями.

Фізико-хімічні властивості сталі, що визначають її якість, тобто ступінь відповідності для використання за призначенням або здатність задовольняти потреби споживачів, можна розділити на дві групи. До першої групи належать властивості, що визначають технологічність сталі, тобто здатність сталі підлягати тій чи іншій обробці (тиском, термохімічній і т.ін.) при отриманні готових виробів. До другої групи належать властивості, що визначають здатність сталі забезпечувати надійну і довготривалу придатність у готових виробках.

Поділ хімічних елементів, що є домішками сталі, на корисні і шкідливі, деякою мірою носить умовний характер. Так, в більшості марок сталі вуглець -

корисна домішка, а в електротехнічних, корозійностійких сталях - шкідлива. Хром, нікель і деякі інші елементи покращують властивості багатьох легованих сталей, але для деяких сталей вони є шкідливими домішками. Сірка, фосфор і азот є для більшості сталей шкідливими домішками, а в деяких випадках їх використовують як легуючі елементи.

Металургія сталі як виробництво виникла приблизно 3,5 тис. років тому в районі Суецької затоки (Сирія, Єгипет). Шлях розвитку чорної металургії можна розділити на декілька етапів.

За використаною основною сировиною або технологічною схемою сталеплавильне виробництво має **два основні етапи розвитку:**

- Пряме отримання сталі із залізних руд так званім сиродутним процесом, тобто однокрокове виробництво за схемою залізна руда-сталь.
- Отримання сталі шляхом рафінування чавуну, тобто двокрокове виробництво за схемою залізна руда - чавун - сталь (почалося на межі XII і XIV століть н.е. і продовжується й дотепер).

Розвиток виробництва сталі шляхом рафінування чавуну, що забезпечує найбільший технічний прогрес, в свою чергу має три важливих етапи розвитку, на кожному з яких, як правило, використовувалося **кілька способів отримання сталі.**

Перший етап - переробка чавуну в сталь, отриману в тістоподібному стані у вигляді *криці* (зварювального заліза). Він почався з використання кричного процесу, на зміну якому прийшов пудлінговий процес (1784 р., Англія).

Другий етап - переробка чавуну в рідку сталь без додавання або з додаванням брухту (скрапу) в агрегатах періодичної (дискретної) дії без використання кисневого дуття. Початок цього етапу пов'язаний зі створенням бесемерівського процесу (1855-1860 рр., Англія). Подальший його розвиток привів до розробки мартенівського (1864-1865 рр., Франція), томасівського (1877-1879 рр., Англія) та електродугового (1900 р., Франція) процесів. Перехід до отримання сталі в рідкому стані дозволив покращити її якість.

Третій етап - переробка чавуну в рідку сталь в агрегатах періодичної дії з використанням кисневого дуття. Це сучасний етап розвитку сталеплавильного виробництва, що має такі особливості: впровадження та широке використання киснево-конверторного процесу (1952-1953 рр., Австрія); використання кисню для інтенсифікації мартенівського і електродугового процесів; широке використання з метою підвищення якості сталі способом ковшової обробки рідкої сталі - синтетичними шлаками або шлаковими сумішами, вакуумом, інертними газами, поєднаними з мікролегуючими порошками або без них, а також способом переплавки сталі в особливих умовах (електрошлакового, вакуумно-дугового, електронно-променевого, плазменодугового).

Захист атмосфери від шкідливих викидів сталеплавильного виробництва. Сучасні способи виробництва сталі розрізняються за використанням джерел енергії, звідси, безумовно, різний їх вплив на довкілля. Найбільш розповсюджені такі способи виробництва сталі: мартенівський та киснево-конверторний.

Джерелом тепла для мартенівської печі є паливо, що згоряє в просторі над розплавленим металом. Киснево-конверторний процес один з видів переробки рідкого чавуну в сталь без використання палива шляхом продувки в конверторі технічно чистим киснем.

Мартенівське виробництво сталі. З усіх пилогазових викидів із сталеплавильних агрегатів найбільша кількість припадає на мартенівські печі; 90% оксидів сірки, 85% оксидів азоту та 75% пилу. На одну тонну садки в мартенівських печах при опаленні їх природним газом утворюється від 1000 до 4000 м³/год газу, який має на виході з печі температуру 700-800°C. Хімічний склад газу залежить від виду використаного палива, складу шихти та технології плавки. В ньому містяться оксид та діоксид вуглецю, оксиди азоту та сірки, кисень, водень, азот, водяна пара та деякі інші речовини. Кількість оксидів сірки залежить від виду використаного палива і при опаленні коксодоменним газом може досягати 800 мг/м³.

Окрім газоподібних домішок, газ, що виділяється, містить значні кількості пилу - до 15 г/м³. Мартенівський пил складається в основному з

оксидів заліза (близько 88%). Крім цього, в ньому містяться оксиди алюмінію, марганцю та інших речовин, що входять до складу шихти; оксиди заліза надають газу коричневого кольору.

В мартенівських цехах є і неорганізовані джерела потрапляння пилу в довкілля. Наприклад, в повітрі міксерного відділення вміст пилу доходить до 13 г/м^3 ; в місці розвантаження сипких матеріалів на шихтовому подвір'ї $250\text{-}450 \text{ мг/м}^3$; в люнкеритному пристрої в розливному прольоті $100\text{-}160 \text{ мг/м}^3$. Виділений з мартенівської печі газ перед викидом в атмосферу підлягає обов'язковій очистці. Перед очисткою газ охолоджують в котлах-утилізаторах до $220\text{-}250^\circ\text{C}$.

В нашій країні найбільше розповсюдження отримали дві схеми очистки мартенівського газу: суха в електрофільтрах та мокра. Запиленість очищених за цими схемами газів не перевищує 100 мг/м^3 . На приведеній на малюнку 3.2.4 схемі очистки мартенівського газу сухі пластинчасті електрофільтри встановлені після котла-утилізатора. Для запобігання вибуху оксид вуглецю, що міститься в газі, допалюється в спеціальній камері, що знаходиться перед котлом-утилізатором.

При очистці газу, що відходить від двованного сталеплавильного агрегата, використовується також суха та мокра схеми очистки. На мал. 3.2.6 показана схема охолодження та сухої очистки від пилу газу двованного сталеплавильного агрегата в електрофільтрі з охолодженням газів у скрубєрі та в котлі-утилізаторі. Після допалювання оксиду вуглецю газ охолоджується (до 200°C) в скрубєрі, за яким встановлено електрофільтр типу УГ. При такій схемі очистки, якщо запиленість газу перед скрубєром становить до 7 г/м^3 , то перед електрофільтром вона вже зменшувалася до 3 г/м^3 , а за ним-до $0,1 \text{ г/м}^3$.

При мокрій очистці газу, що відходить від двованного сталеплавильного агрегата, в скрубєрах Вентурі його спочатку охолоджують до $700\text{-}800^\circ\text{C}$ шляхом вприскування води, потім направляють в котел-утилізатор. Охоложені до $200\text{-}250^\circ\text{C}$ гази потрапляють далі в скрубєри Вентурі, після них - на краплеуловлювачі, а звідти за допомогою димососів - в димар. Ефективність уловлювання пилу досягає 99%.

Зараз необхідно очищати мартенівські гази не тільки від пилу, але і від оксидів азоту. Для видалення їх апробовано аміачно-каталітичний метод. Підготовка газів до каталітичної очистки включає їх охолодження та очистку від пилу в тканинних або електричних фільтрах. Процес відновлення оксидів азоту аміаком до елементарного азоту відбувається при температурі 280-320°C при наявності ванадієвого каталізатора. Розробляються методи окислення азоту до діоксидів, для чого використовуються тверді, рідкі та газоподібні окислювачі (гіпохлорид натрію, хлорне вапно, діоксид хлору, озон). Отриманий діоксид азоту та непрореагований оксид азоту уловлюються лужним розчином.

Досліджуються методи адсорбції оксидів азоту твердими адсорбентами (сланцевою золою, вапном, цеолітами та іншими речовинами) в нерухомому та киплячому шарі. При цьому поглинається до 80% оксидів азоту. Контактний апарат являє собою циліндричну або прямокутну ємкість з перегородкою - перфорованою полицею, на якій знаходиться адсорбент. При необхідності в апарат встановлюють декілька полиць з адсорбентом, шар якого досягає висоти 50-100 мм, будується окремий колекторний підвід та відвід газу від кожної полиці.

Конверторне виробництво сталі. У зв'язку з меншою енергоємністю киснево-конверторного способу виробництва сталі в порівнянні з мартенівським способом частка виплавки конверторної сталі безперервно збільшується.

При продувці рідкого чавуну киснем у конверторі відбувається вигорання з чавуну вуглецю та інших домішок. Утворений продукт згорання (конверторний газ) містить в основному оксид вуглецю (85-90%), діоксид вуглецю (8-14%), а також невелику кількість кисню, азоту та деяких інших речовин, наприклад, сірки. За даними, кількість сірки, що виходить з газової фази за плавку, складає 7-8% від вмісту сірки в шихті.

В зоні зіткнення кисню з чавуном в конверторі розвивається висока температура (до 3000°C), при якій випаровуються оксиди заліза та інших домішок. Ці пари разом з конверторним газом охолоджуються та конденсуються, утворюючи велику кількість маленьких часток пилу. Окрім

цього, конверторний газ виносить маленькі частинки руди, вапна та інших домішок, що завантажуються в конвертор у процесі плавки. На 1 т плавки в конверторі утворюється до 90 м^3 газу та до 20 кг пилу. Пил складається в основному з заліза та його оксидів (60-70%). Запиленість конверторного газу при виході з конвертора може досягати 250 мг/м^3 . Для уловлювання та відводу конверторного газу над горловиною конвертора є ковпак (кесон), з'єднаний з відвідним газопроводом. Пристрій газовідвідних трактів залежить від того, чи здійснюється допалювання оксиду вуглецю чи ні. За цією ознакою газовідводи поділяються на три групи: 1) системи з підсмоктуванням повітря через зазор між конвертором та котлом-охолоджувачем і повним допалюванням CO в останньому;

2) системи без доступу повітря в газовий тракт та без допалювання CO; 3) системи з частковим допалюванням CO в котлі-утилізаторі. Якщо допалювання CO здійснюється, то в зазорі між горловиною конвертора та газовідходом створюється за допомогою димососа розрідження, внаслідок чого газ не виділяється в довкілля, а в газовідхід підсмоктується повітря, кисень якого перетворює CO в CO_2 . В цьому випадку в газі присутній CO_2 , що забезпечує вибухобезпечність процесу його подальшої очистки та видалення.

Для очистки конверторного газу від пилу використовують скрубери Вентурі, електрофільтри та тканинні фільтри. За цими схемами конверторні газу підлягають очистці в котлі-утилізаторі, вбудованому в підйомно-опускному газоході, та в скрубері прямокутного перерізу, звідки їх потім направляють у блок з восьми встановлених на інерційний краплеобмежувач труб Вентурі з колоподібним перерізом горловини. Остаточна очистка газу відбувається в двох паралельно розташованих відцентрових скруберах. В цьому випадку забезпечується очистка газу до кінцевого пиловмісту близько 70 мг/м^3 .

Використання електрофільтрів у пристроях без допалювання оксиду вуглецю неможливе, бо ці фільтри вибухонебезпечні через виникнення спалахів при електричних пробоях.

Тканинні фільтри недостатньо газошільні і до того ж великі, тому для очистки газів використовуються скрубери Вентурі.

Мокра очистка газів від пилу без допалювання СО відбувається в апаратах, аналогічних використаним пристроям для очистки з повним допалюванням СО. Система відводу газу (мал. 3.2.9) складається з кесона, що переходить в камін, в який вбудовано котел-утилізатор, де газ охолоджується до 800-900°C; доохолодження його йде спочатку в горизонтальному газоході за рахунок наведення води, а потім в низьконапірних трубах Вентурі з регульованим перерізом горловини; коагуляція малодисперсного пилу відбувається у високонапірній трубі Вентурі. Очистка від великих краплин шламу відбувається в інерційних пило- та водообмежувачах, на яких встановлені труби Вентурі; фінальна очистка газу від великого пилу відбувається у відцентровому скрубєрі.

Зменшення шкідливих викидів технологічним шляхом.

Зменшення кількості шкідливих викидів у сталеплавильному виробництві досягається використанням різних технологічних прийомів та пристроїв. Велике значення має механізація ручних операцій. Для зниження шкідливих викидів передбачається: механізоване завантаження шихти; підвісні бункери для сипких матеріалів та феросплавів; автоматизовані системи для завантаження цих матеріалів; обладнання для механізації робіт по обслуговуванню конверторів та міксерних пристроїв; механізація прибирання шлаків під конверторами та сміття на робочих майданчиках; механізація ломки зношеної футеровки основних агрегатів, прибирання відходів;

механізація підготовки та ремонту набивної футеровки сталерозливних ковшів; обладнання ковшів шибєрними затворами.

Пил, що виноситься з мартєнівської печі, складається з маленьких часток залісної руди, вапняку, шлаку, а також продуктів конденсації парів металу. Винос малих часток руди та вапняку відбувається в результаті руйнування цих матеріалів під впливом високих температур у періоди нагріву шихти та її плавлення. Винос цих часток припиняється повністю після покриття шихти шаром шлаку. У зв'язку з цим велике значення мають склад шлаку, час його наведення, температура, площа поверхні зіткнення з металом.

Запиленість продуктів згоряння залежить від періоду плавки. Максимальна її величина (до 15 г/м^3) характерна для періоду продувки киснем. При правильній експлуатації котла-утилізатора та очисної споруди запиленість газу на виході з неї звичайно буває $< 0,1 \text{ г/м}^3$. Щоб зменшити винос пилу, не слід завантажувати в піч сипучі матеріали та додавати руду в ванну на стадії кипіння.

В конверторному виробництві зниженню кількості шкідливих викидів сприяють вплив звукових коливань на робочий об'єм та рідку ванну, а також окремий підвід кисню та відвід газів.

Для зменшення шкідливих викидів при розливанні сталі під шлаком слід прагнути: до зниження інтенсивності фтористих виділень, що досягається зменшенням вмісту фтористих компонентів; підвищення основності шлаку; використання силікокальцію та порошоків алюмомагнію замість алюмінію, марганцевої руди замість натрієвої селітри; зниження вологості домішок; використання ма-лофосфористих шлакоутворюючих брикетів.

Велике значення має перехід на випарювальне охолодження сталеплавильних агрегатів (заміна в охолоджувальних системах холодної води на киплячу), що дозволяє зменшити витрати води на охолодження більше ніж у 60 разів. Металургійні агрегати нагріті до високих температур, і в охолоджувальних системах завжди використовували холодну воду. Якщо її замінити кип'ятком, то останній, стикаючись з охолоджуваною поверхнею, перетворюється в пару, яка забирає багато тепла.

Одна з основних умов, що дозволяють знизити викиди шкідливих речовин, - правильне, кваліфіковане ведення технологічних процесів у сталеплавильному виробництві. Це допоможе запобігти аварії та непередбаченим викидам шкідливих речовин.