

ЛЕКЦІЯ 21

СУТНІСТЬ ПРОЦЕСІВ ОДЕРЖАННЯ СТАЛІ В КОНВЕРТОРАХ

Двоступінчатий процес виплавки сталі

Традиційно в світовій металургійного виробництва набула технологія, що основана на використанні двоступінчастого процесу:

- 1) виплавка чавуну в доменних печах;
- 2) переробка доменного чавуну в сталь.

Переважає більшість світового виробництва сталі здійснюється саме за цією технологією. Вона передбачає наявність на металургійних заводах доменних цехів і використання як шихтового матеріалу рідкого переробного чавуну. У випадках, коли на металургійних заводах доменних цехів немає, то сталеплавильне виробництво використовує переробний чавун у вигляді чавунних виливок – чушок.

В чавуні значно більше вуглецю (біля 4%), а також марганцю, кремнію та інших домішок, ніж повинно бути в сталі. Тому виплавка сталі – переробка чавуну в сталь – полягає в проведенні окислювальних процесів для видалення надлишку вуглецю та інших елементів. Для забезпечення якості сталі при плавці необхідно по можливості повніше видаляти з металу шкідливі домішки – сірку, фосфор, кисень, азот, неметалеві включення.

Другою головною складовою металошихти є металевий брухт (стальний, а в деяких випадках, і чавунний).

Співвідношення між кількістю переробного чавуну й кількістю брухту, що витрачається на виробництво сталі, для різних процесів різне. В середньому в нашій країні на виробництво 1 т сталі витрачається 610 кг чавуну і 485 кг брухту. У сталеплавильному виробництві як складові металошихти використовуються також феросплави – для розкислення і легування сталі.

Як додаткові матеріали (флюси) використовуються:

- вапняк;
- вапно – свіжовипалене з вмістом 85...90% CaO;
- боксит (20...60%Al₂O₃; 3...20%SiO₂; 15...45%Fe₂O₃);
- плавиковий шпат (90...95%CaF₂);
- марганцева руда;
- пісок (~95% SiO₂; бій шамотної цегли, так званий «шамотний бій»(~65% SiO₂ і ~30% Al₂O₃)).

Як окислювачі застосовують кисень, стиснуте повітря, залізну руду, окалину, агломерат, залізородні брикети.

Основні способи виплавки сталі

В сучасному сталеплавильному виробництві найбільшого поширення набули такі способи виплавки сталі:

- киснево-конверторний (більше 55% від всієї сталі, що виплавляється);
- мартенівський (~20%);
- електроплавильний (~25%).

Киснево-конверторне виробництво сталі

Кисневий конвертор – це посудина грушоподібної форми, яка встановлюється на опорних станинах за допомогою цапф і може повертатися для здійснення технологічних операцій.

Корпус (кожух) конвертора зварений з листової сталі товщиною до 110 мм. Розташування горловини в конверторах симетричне, що дозволяє вводити кисневу фурму суворо по осі конвертора і забезпечувати тим самим рівномірне зношування футерівки.

Футерівка конвертора зазвичай двошарова загальною товщиною 700...1000 мм. Перший зовнішній (арматурний) шар товщиною 110...250 мм виготовлений з магнезитової або магнезито-хромітової цегли. Він не потребує заміни протягом багатьох років. Внутрішній або робочий шар зношується під час роботи і його замінюють при ремонтах футерівки. Його виготовляють з високовогнетривкої (35...37%MgO, 45...65%CaO), смолодоломітомагнезитової (50...80%MgO, 12...45%CaO) цегли. Її стійкість складає 800...900 плавок.

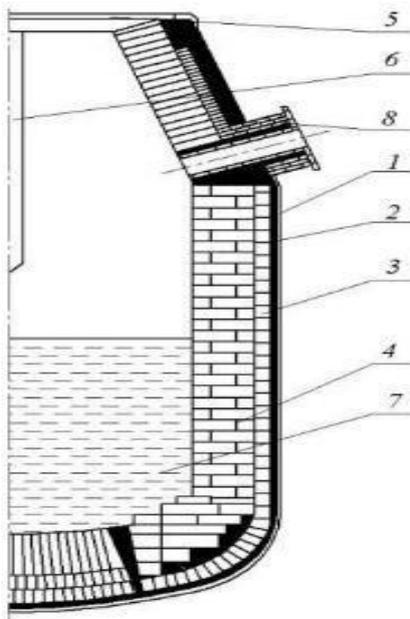


Схема кисневого конвертора

1 – кожух; 2 – арматурний шар футерівки; 3 – вогнетривка набивка; 4 – робочий шар футерівки; 5 – горловина; 6 – фурма для вдування кисню; 7 – метал; 8 – лютка для зливання сталі.

Гарячий ремонт футерівки 3...6 разів на добу, шляхом нанесення на зношені ділянки футерівки вогнетривкої маси за допомогою сопла (струменем стиснутого повітря) спеціальної установки дозволяє призупинити зношування робочого шару футерівки і досягти її стійкості в кілька тисяч плавок.

Основна футерівка дозволяє завантажувати в конвертор вапно з утворенням основного шлаку, що забезпечує повне видалення з металу шкідливих домішок – сірки і

фосфору.

Ємність існуючих у нас конверторів (за масою рідкої сталі) складає 400...550 т. Внутрішній робочий простір конвертора на 350 т має розміри: висота 9,9 м, діаметр 7,0 м, діаметр горловини 4,0 м, глибина ванни рідкого металу 1,8 м; питомий об'єм (об'єм робочої порожнини, що приходить на 1 т рідкої сталі, м³/т) становить 0,92, що запобігає викидам металу при інтенсивній продувці.

Шихтові матеріали, основним шихтовим матеріалом киснево-конверторного процесу є рідкий переробний чавун із початковою температурою 1300...1450°C. другою складовою шихти є сталений брухт, кількість якого складає 25...27% від маси шихти. Розміри кусків брухту не повинні бути більшими 0,2×0,3×1,0 м, а пакетів брухту не більші 0,7×1×2 м. Основні шлакоутворюючі матеріали – це вапно і плавиковий шпат, інколи використовують також окалину, залізну руду, боксит, агломерат та ін.

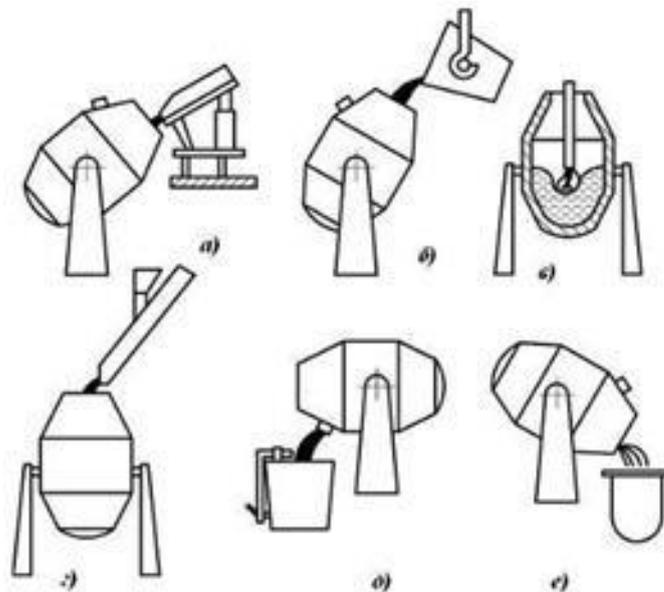
Киснева фурма. Кисень подають в конвертор через вертикально розташовану водоохолоджувану фурму, яку вводять у порожнину конвертора через горловину суворо по його осі. Тиск кисню становить 1,0...1,6 МПа. Над ванною рідкого металу в спокійному стані фурма знаходиться в межах 0,8...3,3 м. Фурма внизу має мідну головку з кількома соплами (3...7), через які подається кисень в кількості від 2,5 до 5...7 м³/(т·хв). Головка фурми знаходиться в зоні найбільш високих температур (до 2600°C), тому її виготовляють із міді, яка завдяки високій теплопровідності забезпечує швидше відведення і передачу воді тепла. Воду для охолодження фурми подають під тиском 0,8...1,2 МПа. Температура води на виході з фурми <40°C. Стійкість головок фурм становить 50...250 плавок.

Технологія плавки

Хід плавки. Плавку починають із завантаження в конвертор брухту через горловину завантажувальними машинами або кранами, які перекидають лотки які перекидають лотки з брухтом у нахилений конвертор.

Потім із заливального ковша заливають розплавлений чавун. Після цього конвертор повертають у вертикальне положення. В порожнину конвертора вводять фурму і включають подачу кисню. Потім завантажують першу порцію (1/2...2/3) шлакоутворюючих матеріалів (вапно з плавиковим шпатом і інколи з додаванням руди, окалини, бокситу).

Решту шлакоутворюючих матеріалів вводять кількома порціями протягом першої третини тривалості продувки



Технологічні операції конверторної плавки

Продувка в залежності від інтенсивності подачі кисню триває від 12 до 20 хв. і повинна закінчитись на заданому для виплавної марки сталі вмісті вуглецю. На цей момент метал повинен бути нагрітий до необхідної температури (1580...1650°C), а вміст сірки і фосфору в ньому не повинен перевищувати меж, допустимих для даної марки сталі.

Момент закінчення продування визначають за кількістю витраченого кисню, тривалістю продування. Закінчивши продування, із порожнини конвертора виводять кисневу фурму, а конвертор повертають у горизонтальне положення. Через горловину конвертора відбирають проби металу й шлаку і вимірюють температуру металу термопарою занурення.

У відібраній пробі металу експресним методом визначають вміст вуглецю та інших елементів. За результатами аналізу металу і його температури приймається рішення про випуск плавки або про проведення операцій коректування, які повинні забезпечити заданий хімічний склад і температуру.

Після досягнення необхідних параметрів металу конвертор нахиляють, випускаючи сталь у ківш через лютку і одночасно в ківш вводять розкислювачі і легуючі домішки. В ковші зливають також невелику кількість шлаку (товщиною 200...300 мм) для попередження швидкого охолодження металу. Шлак, що залишився, зливають у шлакову чашу через горловину. Загальна тривалість плавки в конверторах місткістю від 50 до 400 т складає 30...55 хв.

Режим дуття. Важливими параметрами режиму дуття є тиск, інтенсивність подачі кисню, кількість кисневих струменів, висота розташування фурми, глибина проникнення струменів кисню у ванну, чистота кисню.

Для достатнього заглиблення кисневих струменів у ванну та повного засвоєння металом кисню потрібна висока кінетична енергія струменів, тому розміри сопел розраховують так, щоб швидкість струменя на виході з них складала 450...500 м/с. Тиск кисню перед фурмою повинен бути при цьому 1,2...1,6 Мпа. Питомі витрати кисню становлять 47...57 м³ на 1 т сталі (до 2000 м³/хв). Схема взаємодії кисневого струменя з ванною й циркуляція ванни показані на рис. 3.3. На початку продувки фурма знаходиться над ванною. В середині продувки, коли інтенсивність окислення вуглецю значно зростає, велика кількість бульбашок оксиду вуглецю пінить верхню частину ванни й фурма виявляється зануреною в утворену газо-шлако-металеву емульсію; рівень ванни може досягти горловини конвертора.

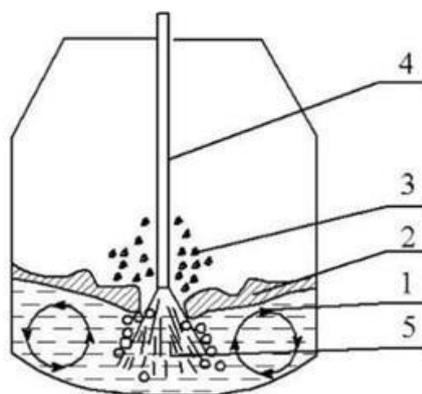


Схема взаємодії струменя з ванною:

1 – бульбашки СО; 2 – шлак; 3 – брызки шлаку й металу; 4 – фурма; 5 – струмінь кисню

Для продування потрібно використовувати кисень чистотою не менше 99,5% для забезпечення мінімального вмісту азоту в сталі (у межах 0,002...0,004% N).

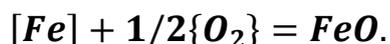
Реакції окислення

Окислення заліза, вуглецю, марганцю й кремнію відбуваються за рахунок: газоподібного кисню {O}; кисню, розчиненого в металі [O], окису заліза (FeO).

Тут і в подальшому приймається стандартне позначення:

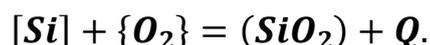
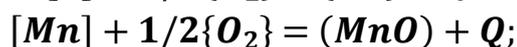
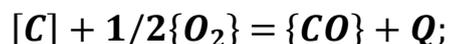
- [C], [Si] тощо – компонент, розчинений у металі;
- (FeO), (CaO) тощо – у шлаку;
- {O}, {CO} - знаходиться в газовій фазі.

При вдуванні кисню в метал спершу окислюється залізо, це пов'язано з тим, що його концентрація в багато разів більша концентрацій інших елементів:



Окис заліза частково розчиняється в металі $FeO \rightarrow [FeO]$ і частково – в шлаці $FeO \rightarrow (FeO)$.

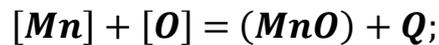
Газоподібним киснем окислюється лише незначна кількість домішок:



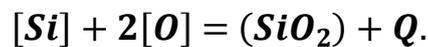
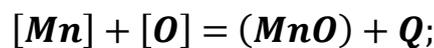
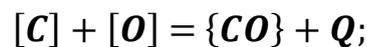
Більша частина домішок окислюється за рахунок кисню шлаку (FeO) і кисню, яким збагатився метал при розчиненні в ньому оксиду заліза:



Окислення киснем, що міститься в оксидах заліза шлаку:



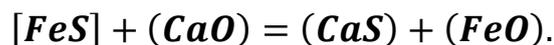
Окислення киснем, розчиненим у металі:



Фосфор видаляється з металу в шлак за реакцією: $2[P] + 5(FeO) + 3(CaO) = (3CaO \cdot P_2O_5) + 5[Fe] + Q$,

для успішного протікання якої потрібні підвищена основність (CaO) і окисленість (FeO) шлаку та невисока температура (реакція екзотермічна). Найбільш повно протікає реакція видалення фосфору на ранніх стадіях продувки, коли швидко формується основний залістий шлак і температура порівняно невисока. У шлак переходить до 95...98% фосфору шихти, в кінці плавки сталь містить 0,002...0,004% P.

Сірка видаляється в кисневому конверторі протягом всієї плавки і, головним чином, шляхом переходу її з металу в шлак за реакцією:



Але ця реакція має обмежений розвиток внаслідок того, що шлак в киснево-конверторному процесі окислений (7...20% FeO), і це перешкоджає ошлакуванню сірки. За цією реакцією видаляється 30...40% S. Тому для виплавки високоякісних сталей вміст сірки в чавуні не повинен бути вищим 0,035% (при виплавці рядових марок сталі – 0,06%).

Шлакоутворення і вимоги до шлаку

Головні джерела шлакоутворення: вапно (CaO), що завантажується в конвертор; продукти окислення складових чавуну (SiO₂, MnO, FeO, P₂O₅); продукти розчинення футерівки (CaO, MgO); шлак, що надходить із чавуном (SiO₂, CaO, MnO, FeO, Al₂O₃, MnS); оксиди заліза з іржі сталюного брухту; флюси (CaF₂, Al₂O₃, SiO₂, Fe₂O₃).

Шлаковий режим повинен передусім забезпечити достатньо повне видалення фосфору і сірки з металу. З цією метою основність шлаку (CaO/SiO₂) повинна бути 2,5...3,7, а в'язкість невелика, оскільки в густих шлаках сповільнюються процеси дифузії

компонентів, що беруть участь в реакціях усунення фосфору й сірки з розплаву. Розрідженню шлаку сприяє плавиковий шпат (CaF_2), витрати якого складають 0,15...0,3% (інколи до 1%). Склад кінцевого шлаку такий: 43...50% CaO ; 14...22% SiO_2 ; 7...20% FeO ; 2...6% Fe_2O_3 ; 7...14% MnO ; 3...7% Al_2O_3 ; 1,5...4% MgO ; 0,5...4% P_2O_5 ; <3% CaF_2 ; <1% CaS . Кількість шлаку становить 10...17% від маси сталі.

Тепловий режим

Сталь при випуску з конвертора повинна бути нагріта до температури 1600...1650°C, тоді як чавун, що заливається в конвертор, має температуру 1250...1400°C. Джерелом тепла для нагрівання сталі і шлаку, а також для поповнення витрат тепла з відхідними газами і через кожух конвертора є тепло, що виділяється при окисленні домішок чавуну. Розрахунки теплового балансу і практика показують, що загальна кількість тепла, що виділяється при окисленні домішок чавуну при будь-якому його складі, значно перевищує потреби в теплі для нагрівання сталі й шлаку і для компенсації тепловтрат. У зв'язку з цим при киснево-конверторній плавці обов'язковим є застосування охолоджувальних домішок. Зазвичай, як охолоджувачі застосовується сталевий брухт. Надлишкове тепло процесу використовується при цьому на його нагрівання і розплавлення. Витрати брухту становлять 25...27% від маси металевої шихти. Перевагою брухту перед іншими охолоджувачами (залізна руда, агломерат, вапняк тощо) є і те, що він знижує собівартість сталі, тому що містить менше домішок, які окислюються при продуванні.

Втрати металу при продуванні

Втрати металу складаються із втрат у вигляді неминучого угару домішок, з оксидами заліза шлаку, з викидами і виносом крапель металу з відхідними газами, у вигляді краплин в шлаку, з димом. Неминучий угар складає 5...6% від маси чавуну.

Втрати з димом зумовлені наявністю в диму дрібнодисперсних частинок оксидів заліза і становлять 1,0...1,5% від маси металу.

Втрати металу з викидами і виносом крапель становить біля 1%. Втрати заліза, що знаходиться в шлаку у вигляді оксидів FeO і Fe_2O_3 становлять 1...1,25% від маси металу. Зі шлаком втрачається 0,3...0,5% заліза у вигляді дрібних крапель, які заплутуються в шлаці.

Вихід рідкої сталі при киснево-конверторному процесі з урахуванням усіх витрат складає 89...92% від маси металевої шихти.

Розкислення сталі

Розкисленням називають технологічну операцію, при якій розчинений у металі кисень переводиться в нерозчинні у металі сполуки. Після операції розкислення сталь називається розкисленою або спокійною. Якщо операцію розкислення не проводити, то в сталі при її поступовому охолодженні буде протікати реакція $[O] + [C] = \{CO\}$. Бульбашки оксиду вуглецю, які утворюються при цьому, будуть виділятися з виливка,

що кристалізується, створюється ефект кипіння. Тому таку сталь називають *киплячою*.

Присутній у киплячій сталі погіршує міцність, пластичність і в'язкість сталі. Значно підвищується «поріг холодноламкості», тобто мінімальна температура, при якій метал майже катастрофічно втрачає свої механічні властивості, особливо пластичність («поріг холодноламкості» киплячої сталі становить близько 0°C, а спокійної – мінус 40°C). Тому розкислення сталі є обов'язковою завершальною операцією при виготовленні більшості марок сталі.

Для киснево-конверторної сталі застосовують так зване глибинне (осаджуюче) розкислення, яке полягає в тому, що розчинений в металі кисень переводять в нерозчинний оксид введенням у товщу металу елемента – розкислювача. Цей елемент повинен мати більшу спорідненість із киснем ніж залізо. Оксиди, що утворюються при окисленні цих елементів, мають меншу густину, ніж сталь; вони спливають «осаджуючись» у шарі шлаку.

Найчастіше сталь розкислюють марганцем (феромарганцем), кремнієм (феросиліцієм) і алюмінієм. Ці розкислювачі вводять в ківш на струмінь сталі, яка випускається з конвертора після наповнення ковша на 1/4...1/3 об'єму, в такій послідовності:

спочатку феромарганець $[Mn] + [O] = (MnO)$;

потім феросиліцій $[Si] + 2[O] = (SiO_2)$;

і в останню чергу алюміній $2[Al] + 3[O] = (Al_2O_3)$.

Оброблена таким чином сталь і буде «спокійною». Оброблена лише феромарганцем сталь залишається «киплячою». Вона найдешевша. Сталь, розкислена феромарганцем і феросиліцієм, називається «напівспокійною». За якістю і вартістю вона є проміжною між спокійною і киплячою сталями.

Виплавка легованих сталей

Виплавка легованих сталей в кисневих конверторах пов'язана зі значними труднощами, оскільки більшість легуючих елементів не можна вводити в конвертор через небезпеку їх повного або часткового окислення (кремній, марганець, алюміній, хром, ванадій, титан). Не викликає труднощів легування тими елементами, в яких хімічна спорідненість з киснем менша ніж у заліза (нікель, мідь, молібден). Решту ж елементів вводять у вигляді феросплавів у ківш під час випуску сталі з конвертора. При виробництві низьколегованих сталей із загальним вмістом легуючих елементів не більше 2...3% феросплави вводять у твердому стані. При виробництві більш легованих сталей легуючі домішки заливають в ківш, розплавивши їх попередньо в електричній печі. Це дозволяє вводити в сталь велику кількість легуючих компонентів без її охолодження.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. В чому полягає суть двоступінчатого способу виробництва сталі?
2. Назвіть основні способи виплавки сталі.
3. Яка будова кисневого конвертора та основні процеси, що в ньому відбуваються?