**ЛЕКЦІЯ №11**

**ОБРОБКА СТАЛІ ПОРОШКАМИ ЛУЖНОЗМЕЛЬНИХ МЕТАЛІВ ТА ЇХ СПОЛУК**

* + 1. **11.1 Умови введення порошкоподібних реагентів в метал**

Лужноземельні метали, особливо кальцій, є не тільки розкислювачами, але й елементами, що активно зв'язують сірку. Проте низька температура кипіння цих металів (Са – 1440 °С, Мg – 1103 °С, Ва – 1540 °С) і висока пружність пари при температурі рідкої сталі ускладнюють їх ефективне використання. Значна частина кальцію та інших елементів при звичайному введенні їх в сталь випаровується і окислюється поза металом. Розроблено ряд методів введення лужноземельних металів та їх сплавів, що забезпечують тривалий контакт їх з рідкою сталлю і досить високий ступінь використання.

Для досягнення цієї мети кальцій, який отримав найширше застосування з лужноземельних металів, необхідно вводити на таку глибину, де зовнішній тиск більше пружності його пари. Цю глибину можна визначити з графіка на рис. [11.1](#_bookmark87), де нанесені криві зміни пружності пари кальцію в залежності від температури і тиску шару металу (разом з атмосферою) на різній глибині.

Рисунок 11.1 – Зміна феростатичного тиску (1) на різній глибині h і пружності пари кальцію з температурою (2)

Вибравши на цьому графіку температуру, наприклад 1600 °C, проводимо вертикальну лінію до перетину її з кривою пружності пари кальцію. Потім цю лінію при отриманому тиску пари продовжуємо горизонтально до перетину з

кривою феростатичного тиску. Точка перетину показує глибину, на якій тиск атмосфери і металу дорівнює пружності пари кальцію. Як видно, при 1600 °C вона дорівнює приблизно 1,5 м. На такій глибині кальцій кипіти не буде.

Але такої глибини недостатньо для ефективного використання кальцію, оскільки він лише незначною мірою розчиняється в сталі, і утворені краплі кальцію, що має меншу щільність, ніж сталь, швидко спливають в більш високі горизонти, де відбувається його кипіння і миттєве видалення у вигляді бульбашок. Тому глибину введення кальцію збільшують до 2,5–3 м. У цьому випадку краплі кальцію до скипання спливають через шар товщиною більше 1,5 м і під час спливання взаємодіють з рідкою сталлю. Крім того, для зниження пружності пари кальцію і збільшення тривалості взаємодії його з рідким металом застосовують сплави кальцію, переважно силікокальцій.

Ефективним способом обробки сталі лужноземельними металами (у вигляді їх сплавів) і їх сполуками виявився разроблений в 1970-х роках метод вдування в злитий в ківш метал порошкоподібних реагентів в струмені інертного газу. Утворення великої реакційної поверхні контакту твердих часток з рідкою сталлю при вдуванні порошку через занурену в метал фурму забезпечують інтенсивну взаємодію кальцію зі сталлю.

Схема установки для обробки сталі в ковші порошкоподібними матеріалами наведена на рис. [11.2](#_bookmark88). Порошок завантажують у пневмонасос, де відбувається його аерація шляхом подачі газу через центральні і бічні сопла. Аерований порошок надходить у приймальну трубу і далі по трубопроводу в метал через фурму, яка має занурювальний в метал наконечник, що складається зі змінної частини довжиною 2,5–3 м і подовжувача багаторазового використання довжиною ~2 м. Порошок вдувається горизонтально з двох отворів, перпендикулярних осі фурми (рис. [11.3](#_bookmark89)). У порівнянні з вертикальною або похилою продувкою це забезпечує більш інтенсивний масоперенос і видаляє спливаючі частинки від фурми. В якості несучого газу зазвичай застосовують аргон, що подається під тиском 0,3–0,4 МПа. Витрата аргону

становить 0,2–0,4 м3/хв; тривалість обробки 5–15 хв.



1 – пневмонасос; 2 – люк для завантаження порошку; 3 – центральне сопло;

4 – бічні сопла; 5 – приймальна труба; 6 – трубопровід; 7 – занурювальна фурма; 8 – розливний ківш

Рисунок 11.2 – Схема установки для обробки сталі в ковші порошком



1 – сталева труба; 2 – високоглиноземний вогнетрив Рисунок 6.3 – Фурма для вдування порошку в метал

Після випуску плавки з печі ківш з металом поміщають під занурювальну фурму і починають продувку. З появою на виході фурми стійкого газопорошкового струменя фурму занурюють в метал.

Іншим ефективним способом введення кальцію і його сплавів в рідку сталь є метод присадки порошку, що закатаний сталевим листом в дріт. Діаметр цього дроту 8–14 мм, маса порошку в 1 м 100–500 г. Дріт поставляють в цех в бухтах (котушках) місткістю 1100–3300 м, які поміщають в систему видачі

(трайб-апарат). Застосовують також агрегати, в яких закочування порошку в дріт відбувається по ходу його введення в метал (рис. [11.4](#_bookmark90)). У цих агрегатах розмотується сталева стрічка, на яку з бункера-дозатора безперервно подається порошок. У формувальної кліті стрічка згортається, утворюючи дріт із сердечником з порошку, що вводиться.

1 – розмотувач; 2 – стрічка; 3 – натяжний пристрій; 4 – задаючі ролики; 5 – привід; 6 – формувальна кліть; 7 – бункер–дозатор; 8 – поворотна турель; 9 – захисний кожух; 10 – підтримувальні ролики; 11 – формувально-калібрувальна кліть; 12 – пульт управління; 13 – рама; 14 – направлюячий пристрій; 15 – ківш з металом

Рисунок 11.4 – Схема агрегату для отримання і введення в метал порошкового дроту

Через направляючу трубу барабанними і роликовими живильниками порошковий дріт подають в ківш вертикально або під кутом до вертикалі не більше 30 °. Швидкість подачі дроту в метал становить 100–300 м/хв протягом приблизно 2–3 хв при витраті силікокальцію 0,2–1,0 кг/т. Введення порошкового дроту обов'язково супроводжується продувкою аргоном через пористу пробку (100–150 л/хв) для гомогенізації розплаву.

Тривалість плавлення в рідкому металі сталевої оболочки дроту з сердечником з порошку становить 1–3 с. За цей час дріт встигає проникнути на глибину не менше 3 м, де і відбувається плавлення кальцію або його сплавів.

Засвоєння кальцію, тобто його кількість, яка перейшла у розчин, становить 10–15 %, а вміст у готовій сталі 0,001–0,002 %. Використання кальцію, тобто

кількість, яка перейшла у розчин і використана на десульфурацію, розкислення і модифікацію включень, становить 60–65 %. Таким чином, втрати кальцію при введенні його у вигляді силікокальцію на глибину приблизно 3 м складають 35– 40 %.

## Хід процесу та якість сталі

Зміна вмісту кисню і сірки в сталі в процесі її продувки в ковші порошком кальцію наведена на рис. [11.5](#_bookmark92). Видно, що при такій обробці різко знижується вміст в сталі кисню, як розчиненого в металі, так і загального. При цьому абсолютне зниження загального вмісту кисню більше зниження його в розчині. Наприклад, при обробці в ковші з основною футеровкою за час обробки (область III) [O]заг знижується на 0,0085 %, а [O]розч – на 0,0018 %. Це пояснюється тим, що обробку порошком кальцію проводять після розкислення сталі алюмінієм, і кисень в ній знаходиться переважно в зв'язаному стані у вигляді оксидних включень. Тому при обробці сталі кальцієм кисень видаляється в основному у вигляді оксидних включень.

I – випуск і розкислення алюмінієм; II – транспортування ковша до місця обробки; III – обробка кальцієм; IV – розливання; а – кисла футеровка ковша, б

* основна футеровка

Рисунок 11.5 – Зміна вмісту кисню і сірки в сталі в процесі її продувки в ковші порошком кальцію

При введенні кальцію (силікокальцію) в сталь вміст кисню в металі знижується на 25–55 % (до 0,0015–0,0025 %) і сірки на 20–80 % (до 0,001– 0,002 %).

Слід зазначити, що такого ж ступеня десульфурації можна досягти, продуваючи сталь порошками сполук кальцію, наприклад з попередньо сплавленого флюсу складу: 65 % СаО; 20 % А12O3; 15 % СаF2, при витраті 2,5 кг/т. Ступінь десульфурації при цьому визначається головним чином складом покривного шлаку. Однак роль кальцію полягає не тільки в десульфурації й розкисленні, але й в модифікації сульфідних і оксидних включень, що залишаються в сталі. Маючи високу хімічну спорідненість до сірки і кисню, кальцій розкислює сталь і відновлює елементи-розкислювачі з утворених оксидних включень, утворюючи оксиди і оксисульфіди кальцію. Це відбувається лише в разі введення в сталь кальцію в металевому стані, зазвичай у вигляді сплавів з іншими металами або, найчастіше, у вигляді силікокальцию. В сталі сірка знаходиться переважно в сульфіді марганцю MnS. При введенні в рідку сталь кальцію він пов'язує сірку в сульфід кальцію CaS, замінюючи у вузлах кристалічної ґратки марганець. Утворені в результаті такої модифікації сульфіди вже при вмісті в них приблизно 10 % кальцію мають глобулярну форму і в процесі гарячої обробки тиском не деформуються, тобто не утворюють витягнутих включень, істотно знижуючих пластичність і ударну

в'язкість сталі.

Кисень після остаточного розкислення алюмінієм знаходиться в сталі переважно у формі корунду А12O3, який у вигляді строчок включень гострокутньої форми погіршує механічні властивості сталі і викликає утворення в ній дефектів. Кальцій відновлює алюміній, заміщуючи його в оксиді. Ступінь заміщення залежить від вмісту кальцію в сталі. Із збільшенням цього вмісту послідовно утворюються СаО·6А12О3, СаО·2А12О3, СаО·А12О3, 12СаО·7А12О3 з проміжними областями, де співіснують ці оксиди, а при низькому вмісті кальцію і СаО·6А12О3 з А12О3. Щоб видалити кластери А12О3,

що утворюють при обробці тиском рядки, необхідно, щоб відношення [Са]/(А12О3) було більше 0,032. Проте поліпшення властивостей відбувається тоді, коли в сталі відсутні тугоплавкі включення СаО·6А12О3 и СаО·2А12О3, а утворюються СаО·А12О3 и 12СаО·7А12О3 (відповідно з *t*пл 1600 і 1420 °С). Для їх утворення необхідно, щоб відношення [Са]/(А12О3) в сталі було більше 0,20– 0,25. Для цього необхідно вводити в сталь 0,05–0,20 % силікокальцію (0,5–2,0 кг/т). У цьому випадку утворюються глобулярні включення, які не деформуються при гарячій обробці тиском і практично не впливають на властивості сталі.

Утворення включень СаО·А12О3 и 12СаО·7А12О3 покращує також умови розливання сталі, тому що усуває можливість заростання сталерозливного стакану, що відбувається внаслідок відкладення на його поверхні включень А12О3 і СаО·6А12О3.