**ЛЕКЦІЯ №6**

**Вакуумна обробка сталі в ковші ТА в струмені**

**6.1 Вакуумна обробка сталі в ковші**

Вакуумування сталі в ковші є найбільш простим способом її позаагрегатної обробки вакуумом. Його здійснюють на установках, що складаються з вакуумної камери і з'єднаної з нею вакуум-проводами станції вакуумних насосів, як показано на рис. 6.[1](#_bookmark50).

При випуску сталі, призначеної для вакуумування в ковші, необхідно вжити заходів щодо попадання якомога меншої кількості шлаку в ківш.

більшення товщини шару шлаку в ковші викликає підвищення його гідростатичного тиску на метал, який сумується з феростатичним, і зменшує ефект вакуумування. Бажано, щоб шар шлаку в ковші не перевищував 25 мм. Попадання окислювального шлаку в ківш з металом слід взагалі уникати, оскільки у відновлювальних умовах вакуумної камери можливе відновлення фосфору в сталь.



а – без примусового перемішування; б – з електромагнітним перемішуванням: 1 – ківш з металом; 2 – вакуумна камера; 3 – кришка вакуумної камери; 4 – оглядове вікно; 5 – люк для розкислювачів і легуючих; 6

– індуктор

Рисунок 6.1 – Схема установок вакуумування в ковші

Сталерозливні ковші, в яких виконують вакуумну обробку, футерують звичайною шамотною цеглою. Можливо також використання інших вогнетривів: високоглиноземних, доломіту, магнезиту.

Для вакуумування сталі ківш з металом 1 встановлюють в вакуум-камері 2, яку герметично закривають кришкою 3. З пониженням тиску в камері відбувається процес дегазації сталі, що викликає перемішування металу і шлаку бульбашками газу.

Вакуумування розкисленої сталі в ковшах місткістю 12–22 т при залишковому тиску 2–4,5 кПа викликає зниження вмісту водню в сталі на (3– 18)·10-5 %, а в 12-т ковшах при залишковому тиску 0,25–0,60 кПа – на (1,2– 3,3)·10-4 % (кінцевий вміст водню (4,3–5,6)·10-4 %). Кисень і азот з металу

практично не видаляються.

При вакуумуванні нерозкисленої сталі відбувається видалення і кисню з металу внаслідок взаємодії його з вуглецем з утворенням СО. Це впливає і на ефективність дегазації, оскільки спливаючі бульбашки СО викликають виникнення ефекту кипіння, яке підсилює масоперенос в шарі металу, де відбувається окислення вуглецю, і на деякій глибині нижче цього шару. Крім того, бульбашки СО екстрагують з металу водень, інтенсифікуючи його видалення.

При евакуації повітря з вакуумної камери кипіння нерозкисленого металу починається при зниженні тиску до 80–65 кПа і досягає максимуму при 1,5–4 кПа. Подальше зниження тиску в камері не викликає суттєвої інтенсифікації кипіння внаслідок описаного вище визначального при цьому впливу капілярного тиску поверхневого натягу на умови зародження бульбашки, а також феростатичного тиску.

При вакуумній обробці нерозкисленої сталі в ковшах ємністю 10–30 т вміст водню може бути знижений до (3–4)·10-4 %, а кисню – до 0,003–0,009 %. Вміст вуглецю при цьому може бути знижений на 0,02–0,07 %. Проте наприкінці вакуумування нерозкисленої сталі в неї необхідно вводити розкислювачі. Але без штучного перемішування розподіл їх в об'ємі металу в ковші нерівномірний, що робить такий спосіб позаагрегатної обробки сталі непридатним для практичного використання. Вакуумуванню в ковші піддають лише повністю розкислену сталь.

Ефективність вакуумування в ковші зменшується із збільшенням маси сталі внаслідок значного збільшення феростатичного тиску і розвитку процесів дегазації і розкислення вуглецю лише у верхньому шарі металу. Для вакуумування великих мас металу (50–100 т і більше) цей спосіб непридатний. Поліпшити результати вакуумної обробки сталі в ковші і забезпечити можливість ефективного вакуумування великих мас сталі можна, застосовуючи примусове перемішування металу.

В результаті перемішування верхній шар, де власне і протікають процеси вакуумної обробки, безперервно змінюється новими порціями сталі, і ефект вакуумування поширюється на весь обсяг металу в ковші. При цьому створюється також можливість вакуумування нерозкисленої сталі з подальшою присадкою розкислювачів в ківш, де вони в результаті перемішування рівномірно розподіляються в об'ємі металу.

Для підвищення ефективності вакуумування в ковші застосовують електромагнітне перемішування і продувку металу інертними газами. Вакуумну обробку сталі з електромагнітним перемішуванням ведуть на установках, обладнаних індукторами для створення рухомого магнітного потоку (рис. 6.1, б). Взаємодія цього потоку з вихровими струмами, що наводяться ним в рідкому металі, викликає перемішування металу в ковші. Для збільшення глибини проникнення в метал електромагнітного змінного поля застосовують низьку частоту (2–5 Гц), що забезпечує глибину проникнення 30–40 мм при використанні в зоні дії поля кожуха ковша з немагнітної корозійностійкої сталі. Вакуумування в ковшах з електромагнітним перемішуванням успішно застосовують для обробки сталі масою 70–180 т. Більш простим по устаткуванню є спосіб вакуумування сталі з перемішуванням інертним газом, зазвичай аргоном. Аргон подають в метал в процесі вакуумування через встановлені в днищі сталерозливного ковша пористі пробки або блоки, виготовлені з високоглиноземних (мулліт, корунд) або магнезитових вогнетривів. Продувка аргоном забезпечує більш інтенсивне перемішування металу, ніж електромагнітні індуктори. До того ж бульбашки аргону, що є готовими центрами газової фази, сприяють розвитку реакції окислення,

зневуглецюванню й дегазації сталі.

При вакуумній обробці в ковші з перемішуванням найбільш інтенсивно видаляється з металу водень. При залишковому тиску 13–130 Па видаляється 55–75 % всього водню з металу, причому більше водню видаляється при більшому вихідному вмісті його в металі і при обробці нерозкисленої сталі. В результаті такого вакуумування вміст водню може бути знижений до (1,5– 2,0)·10-4 %, що робить сталь нечутливою до утворення флокенів – неприпустимих дефектів у сталевих виробах. Таким чином, вакуумування усуває необхідність проведення спеціальної протифлокенної термічної обробки.

В процесі вакуумної обробки метал охолоджується. Це викликає необхідність перегріву сталі в печі на 40–70 °С, тобто нагріва її до температури на 150–180 °С вище температури ліквідус.

## Вакуумування в струмені

Великий вплив на швидкість дегазації чинить збільшення відносної поверхні (*F*/*V*) металу. Істотно збільшити цю поверхню можна дробленням металу на краплі. Наприклад, якщо рідку сталь помістити в кубічну ємність *V* = 1 м3 , то *F* = 6 м2 , а *F*/*V* = 6 м-1 . Якщо ж роздробити метал на краплі, то відносна поверхня кожної краплі буде дорівнювати:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Радіус краплі *r*, мм | 5 | 2,5 | 0,5 |
| *F*, м2 | 0,6 | 1,2 | 6 |
| *F*/*V*, м-1 | 600 | 1200 | 6000 |

Цьому ж буде дорівнювати відносна поверхня всього металу, що знаходився в ємності *V* = 1 м3. Тому ефективним методом вакуумування сталі є вакуумна обробка струменя, який, як буде показано нижче, дробиться на дрібні краплі з величезною питомою поверхнею.

Промислове застосування вакуумної обробки сталі в струмені почалося в першій половині 50-х років XX ст. при відливанні великих зливків з метою

видалення водню та надання сталі флокеностійкості. Це досягається при вмісті водню не більше 2·10-4 % і особливо важливо при виготовленні поковок із зливків масою 50–400 т, тому що дозволяє уникнути тривалої і дорогої протифлокенної термічної обробки. З цієї причини, а також внаслідок порівняльної простоти здійснення струменевої розливки в виливницю в наш час більше 90 % всіх великих злитків відливається у вакуумі.

Основні схеми установок струменевого вакуумування показані на рис. 6.2. Виливницю поміщають у вакуум-камеру 2, яку закривають кришкою з проміжною ємністю 3. Переливний отвір в проміжній ємності перекривають алюмінієвим листом товщиною 2–3 мм і в камері створюють вакуум. По досягненні необхідного розрідження сталь переливають з ковша 4 в проміжну ємність 3, звідки вона, розплавивши алюмінієвий лист, надходить у встановлену в камері виливницю 1. Проходячи розріджений простір камери, струмінь металу розривається бульбашками газу, що виділяються, на краплі діаметром 10–0,001 мм, і сталь піддається інтенсивній вакуумній обробці.

а – при виливці злитків; б – при переливі з ковша в ківш;

1. – виливниця; 2 – вакуумна камера; 3 – проміжна ємність; 4 – ківш з металом; 5 – сталерозливний ківш

Рисунок 6.2 – Схеми установок струменевого рафінування

Ступінь видалення водню при струменевому вакуумуванні залежить від параметрів обробки. Вона підвищується з пониженням тиску приблизно до 1 кПа і різко зростає при збільшенні висоти падіння струменя до ~1 м. Подальше

збільшення висоти падіння струменя практично не впливає на ступінь видалення водню внаслідок того, що вже при падінні крапель з висоти ~ 1 м тривалість цього падіння достатня для завершення процесу дегазації.

При виробництві порівняно дрібних злитків метал вакуумують при переливі з ковша в ківш (рис. [4.5](#_bookmark55), б). У цьому випадку у вакуумну камеру встановлюють другий сталерозливний ківш 5, з якого після вакуумування сталь розливають.

Як вакуумування в ковші, так і вакуумування струменя більш ефективні при обробці неокисленої сталі. В результаті струменевого вакуумування при залишковому тиску 0,3–1 кПа вміст водню в сталі зменшується на 70–80 %, кисню на 50–60 %, азоту на 15–25 %.

Відливання злитків з вакуумуванням струменя металу, що потрапляє прямо в виливниці, має важливу перевагу в порівнянні з переливом з ковша в ківш у тому, що метал після обробки вакуумом не контактує з повітрям. Другою перевагою виливки злитків з вакуумуванням струменя є відсутність втрат тепла, пов'язаних з вакуумною обробкою сталі, що надходить в виливниці. Застосування другого сталерозливного ковша при вакуумуванні переливом з ковша в ківш викликає значні втрати тепла і необхідність перегріву металу перед зливом з печі на 40–90 °С. Недоліком способу є також необхідність подвоєної кількості ковшів.

Для зменшення втрат тепла, що викликають особливі труднощі при обробці плавок невеликої маси (до 100 т), на деяких заводах застосовують струменеве вакуумування під час випуску з печі. У цьому випадку роль вакуум- камери виконує сталерозливний ківш, що герметизований щільно прилягаючою кришкою, на котру встановлена проміжна ємність. Сталь з печі через проміжну ємність і стопорний переливний отвір надходить у розріджений простір ковша, де піддається струменевому вакуумуванню. Зважаючи на порівняно малі втрати тепла, необхідний додатковий перегрів при випуску з печі становить лише 25– 30 °С.