**ПІДСУМКОВЕ ПРАКТИЧНЕ ЗАВДАННЯ**

**ТЕХНОЛОГІЯ ВИПЛАВКИ СТАЛІ В ДУГОВИХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНИХ ПЕЧАХ**

**1 Різновиди технології виплавки сталі в дуговій сталеплавильній печі**

В даний час цей спосіб є найбільш поширеним для отримання високоякісної електросталі. Технологія плавки в основних дугових печах визначається складом сталі, що виплавляється, і вимогами, які пред'являються до неї, а також якістю шихти.

Різновиди технології плавки електросталі:

- на свіжій шихті (з повним окисленням);

- переплав легованих відходів.

**1.1 Електроплавлення на свіжій шихті**

Металеву частину завалення при плавці електросталі на свіжій шихті складають з таким розрахунком, щоб вміст вуглецю в металі по мірі розплавлення забезпечував би вигорання в процесі окислення не менше . При виплавці особливо відповідальних сталей шихта не повинна містити відходів, легованих титаном, алюмінієм, цирконієм і кремнієм вище 1%. Вміст хрому в шихті не повинен перевищувати 0,4%, а нікель, вольфрам, молібден, мідь, кобальт повинні бути на нижній межі вмісту в марці сталі.

Плавка складається з окремих операцій, що виконуються послідовно одна за одною: заправка печі, завалення шихти, її розплавлення і формування рідкої металевої і шлакової фаз. У окислювальний період плавки вирішується ряд важливих технологічних завдань:

- окислення вуглецю та інших домішок;

- зниження вмісту фосфору;

- дегазація металу та його нагрів до температури на 120 – 150 0С вище

температури ліквідус;

- скачування окисленого шлаку.

Тривалість окислювального періоду плавки залежить від багатьох факторів: місткості печі, хімічного складу сталі, що виплавляється, та інших факторів (без урахування часу розплавлення шихти) і складає хв.

Наступні технологічні операції, а це наведення відновного шлаку, розкислювання металевої ванни, легування металу, доведення по температурі і десульфурація сталі відносяться до відновного періоду плавки.

Завершальна технологічна операція – це випуск сталі з|із| електропечі в сталерозливний| ківш.

Тривалість періоду рафінування сталі в печі складає хв.

Останніми роками споруджують високопотужні (питома потужність| пічного трансформатора 600-900 кВ|·А/т) печі з|із| водоохолоджуваними склепінням |склепі стінками. Технологія плавки|плавлення| в таких печах включає розплавлення та короткий окисний | період, протягом яких відбувається|походить| окислення|окислений| вуглецю| до заданого вмісту|вмісту|, дефосфорація та нагрів ме­талу|, а потім метал випускають в ківш, де методами позапічної|пічної| обробки ведуть процеси рафінування, розкислення| і легування, забезпечуючи отримання|здобуття| сталі заданого складу та властивостей.

**1.2 Переплав легованих відходів**

У процесі виробництва високолегованих сталей відходи на обріз донної частини зливка, прибуткової частини, на окалину, зачистку бічної поверхні зливка, втрати на систему літника, втрати при прокатці і механічній обробці, а також просто брак доходять до 40%. Таким чином, об'єми повторного використання металу дуже великі. При переплаві легованих відходів необхідно в першу чергу раціонально використовувати легуючі елементи. Алюміній і титан окислюватимуться повністю, хром, ванадій, вольфрам окислюватимуться в окислювальний період, тому максимально елементи зберігаються при плавці без окислення. Існують різновиди методу переплаву: без окислення і з частковим окисленням. При переплаві легованих відходів вуглець і фосфор не окислюються. Тому вміст фосфору в шихті не повинен перевищувати граничних значень. Вуглецю в шихті повинно бути на 0,05-0,1% нижче за нижню межу, оскільки в процесі електроплавлення метал вуглецюється. Для коректування вмісту фосфору і вуглецю в шихту вводять м'яке залізо або низьковуглецеву сталь. При необхідності коректування металу по хрому і вольфраму, феровольфрам завантажують з шихтою під електроди, а ферохром під укіс. Для усунення первинного окислення металу в період плавлення в завалення вводять шлакоутворюючі; ранній шлак в колодязях і на дзеркалі металу перешкоджає дифузії кисню і вуглецюванню металу від електроду. Оскільки при переплаві відсутнє кипіння, то шихта повинна бути сухою, без вологи, і всі легуючі добавки повинні бути прожарені. Все одно метал при цьому насищається азотом, для усунення якого в шихту вводять вапняк СаСО3, який дисоціює на СО2 і СаО, і бульбашка СО2  адсорбує гази в собі і виводить в атмосферу печі. При будь-якому розкладі процесу переплаву угар елементів неминучий. Тому пічний шлак прагнуть не зливати, а проводити його відновлення, але, не дивлячись на це, ступінь засвоєння елементів буде наступною:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Al - 60-75% | Si - 70-90% | Mn -70-95% Nі - 95-97% W - 90-95% |
| Ti - 50-60% | V- 55-95% | Cr - 85-90% Мо - 95-97% |

Завдяки методу переплаву легованих відходів значно скорочується витрата феросплавів, зменшується кількість добавок, продуктивність печі збільшується на 20%, зменшується витрата електроенергії, підвищується стійкість футерівки печі. Для збільшення виходу легуючих елементів розроблена технологія з|із| частковим окисленням|окислений|, яка полягає в наступному|слідуючому|: шихта підбирається так, щоб вуглецю було на 0,1-0,2% вище за верхню межу. Для чого шихта повинна на 80% складатися з відповідних легованих відходів, а на 20% - з|із| вуглецевої сталі із|із| вмістом|вмістом| фосфору менше 0,02%. Для вуглецювання використовуються електродний бій і відходи коксу, для раннього утворення шлаку в завантаження|загрузку| вводять|запроваджують| до 2% вапна або вапняку і до 0,5% шамотного бою. Після|потім| розплавлення відбирається проба на хімічний склад металу, після чого починають|розпочинають| вдувати кисень. У той час, коли|у той момент , коли| вся шихта розплавилася і прогрілася, вигорання вуглецю переходить в плавильний режим, кількість випалюваного вуглецю повинна бути не більше 0,15%. Після|потім| продування ванни киснем відбирається проба на хімічний аналіз, скачується повністю|цілком| шлак. Якщо вміст|вміст| легуючих елементів недостатньо в металі, то шлак дифузійно відновлюють, при цьому засвоєння легуючих елементів наступне|слідуюче|: кремнію -| 0%, ванадію - 30-|40%, марганцю - 20-30%, вольфраму - 85-95%. Для зменшення угару ванадію, хрому, вольфраму використовують крем'янисті відходи. Вуглець, окислюючись|окислятися|, виділяє велику кількість тепла, різко підвищує температуру, зменшує тривалість плавки|плавлення|, що зрештою|врешті решт| приводить|призводить| до зменшення вигару.

Електросталь, що виплавляється вказаними вище способами, може піддаватися позапічній обробці (рафінуванню): вакуумуванню, продуванню аргоном, переливу з ковша в ківш, обробці синтетичним шлаком, продуванню порошками, обробці твердими шлакотворюючими сумішами та іншими способами для підвищення її якості.

**2 Електроплавлення в печах з основною футерівкою**

Електроплавлення ділиться на наступні періоди:

- підготовка печі до плавки (заправка);

- завантаження шихти в піч;

- плавлення шихти;

- окислювальний період;

- відновний період (рафінування);

- випуск плавки;

- позапічна обробка.

**Підготовка печі до плавки (заправка)**

Для підтримки вогнетривкої футерівки в робочому стані|достатку| після|потім| кожної плавки|плавлення| (випуску металу) піч ретельно готують: візуально оглядають бічну|бокову| поверхню футерівки і подину|. На червонуватому|червонястому| фоні футерівки залишки шлаку різко виділяються, візуально виявляються тріщини, руйнування. Потім за допомогою спеціальних скребків|скребачок| віддаляються усі залишки попередньої плавки|плавлення|. Залишки шлаку і металу приводять|призводять| до того, що шлак, реагуючи при великих температурах з|із| футерівкою, розчиняє її.

Шлак і метал в печі швидко застигають, тому операцію очищення|чистки| подини| прагнуть виконати в найкоротший час; висока температура в печі необхідна для приварювання заправного матеріалу.

Для заправки|заправляння| печі використовується магнезитовий і доломітовий порошки, роздрібнювальну відпрацьовану магнезитову і хромоперіклазову цеглину, хромистий порошок (хромиста руда). При значних пошкодженнях|ушкодженнях| подини| або укосів проводиться|виробляє| посилена заправка|заправляння| печі з використанням порошкоподібних матеріалів із|із| зв'язкою|в'язкою|: кам'яновугільний пек|, водний розчин рідкого скла. Заправлені місця|місце-милі| подин| покриваються вапном в кількості не більше 5 кг/т сталі, яку вводять розсипом лопатами|.

При “зарослій ” подині| і укосах застосовується залізна руда і кварцовий пісок, які вводяться|запроваджують| в піч перед заваленням шихти.

В електропечі місткістю 40 т і більше застосовуються механізована заправка укосів заправними машинами, що викидають заправний матеріал силою стислого повітря або за допомогою диска, що обертається.

Випускний отвір повинен бути не менше 250х250 (350) мм, він закривається із застосуванням доломітового порошку. Випускний отвір і жолоб очищаються від залишків металу і шлаку, при необхідності проводиться їх ремонт.

Пісочний затвор повинен забезпечувати щільну посадку склепіння. Стан склепіння, заслінки робочого вікна та економайзерів повинні забезпечувати герметизацію печі.

Струмопровідні частини печі, склепіння, каркас обдуваються стислим повітрям не менше одного разу в дві доби.

**Завантаження шихти в піч**

Завантаження|загрузка| сучасних електричних печей металевим ломом проводиться|виробляє| за допомогою бадді|цебром|. Для швидкого розплавлення шихти велике значення має співвідношення дрібного|мілкого|, великого і середнього за габаритністю| лому та порядок|лад| завантаження|загрузки|.

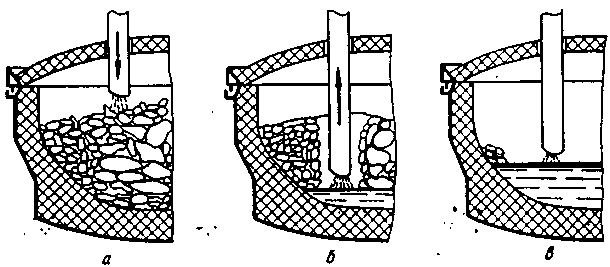
Для досягнення оптимального укладання печі шихта повинна складатися на 35-40% з крупного лому, 40-45% - середнього, 15-20% - дрібного. Причому половина дрібного лому завантажується на подину, потім йде крупний лом упереміш з середнім і зверху половина дрібного. Це забезпечує максимальне садіння печі, менший тиск шихти на подину, і дрібний лом швидше проплавляється. Вміст вуглецю в шихті повинен бути на  вище за нижню межу вмісту в марці. Легуючі вводяться залежно від їх спорідненості до кисню і тугоплавкості. Тугоплавкі феромолібден і феровольфрам завантажують під електроди, легкоплавкі завантажуються під укоси. Кількість вуглецю, якого не вистачає, вводять у вигляді електродного бою, коксу, чавуну, причому при виплавці вуглецевих сталей переважно застосування чавуну. Проте чавун вносить велику кількість сірки і фосфору. Це забезпечує максимальний допустимий вміст фосфору та сірки в шихтовці| плавки|плавлення|. Вміст чавуну в заваленні, як правило, не більше 20%.

Для підтримки рівномірної ранньої дефосфорації металу в завантаження вводять вапно  шихти. Залежно від стану подини вапно завантажується або на подину або зверху шихти. Вапно, що вводиться в баддю або в піч, застосовується шматкове, свіжого випалу (не більше 24 годин після розвантаження з випалювальної печі), без ознак гасіння. Для ранньої дефосфорації завантажується залізна руда  шихти, якщо подина заросла, то залізна руда завантажують на подину, оскільки це дає можливість при інтенсивному окисленні вуглецю і місцевому перегріві металу розчинити гарнісаж печі. Завантаження мульдами практично не доцільне.

**Плавлення шихти**

Це найбільш енергоємний процес, залежно від ємкості|місткості| та сортаменту сталі, що виплавляється, він складе 1/3-1/2 загального|спільного| часу електроплавлення в печі. Велике “теплосприйняття” холодної шихти дозволяє працювати трансформатору на максимальній потужності, проте|однак| спочатку, коли електроди знаходяться|перебувають| над шихтою, велика напруга|напруження|, а, відповідно, і потужність, приводить|призводять| до перегріву|перегрівання| бічних|бокових| стінок і склепіння|склепіння| печі. Відбувається|походить| руйнування футерівки бічних|бокових| стінок і склепіння|склепіння| печі, тому максимальний ступінь|рівень| включається тільки|лише| після|потім| проплавлення колодязів під електродами. У процесі плавлення максимальна напруга|напруження| ще необхідна для того, щоб понизити|знизити| втрати мережі|сіті|. Лише на самому початку плавлення, коли дуги електродів відкриті|відчиняти| та розташовані|схильні| високо (рис. 1 а), випромінювання довгих дуг може привести до перегріву|перегрівання| футерівки склепіння|склепіння| і стін, тому в перші хвилини|мінути| рекомендується застосовувати нижчу напругу|напруження|.

В процесі плавлення кожна дуга електроду пропалює колодязь діаметром на 30-40% більше власного за 30-40 хв. У середній частині|частці| колодязя відбувається|походить| максимальний теплообмін. У міру опускання електроду дуга стає коротшою, крім того дуга може діяти на подину| (рис. 1 б).



а – початок плавлення; б - проплавлення колодязя; в – кінець плавлення

Рис. 1. Стадії плавлення шихти

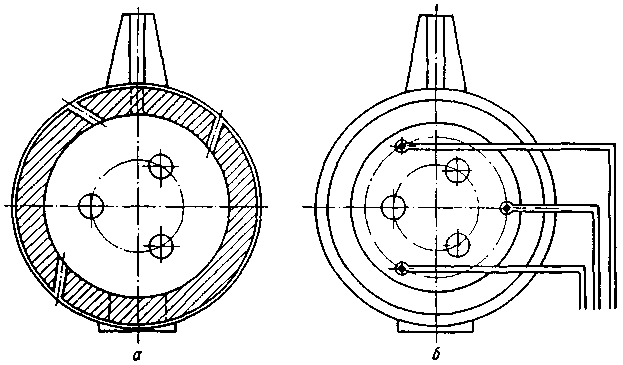
Тому електроди підіймаються, і піч повертається|обертається|. Проте|однак| після|потім| пропалення колодязів залишаються “мости ”. Великі шматки шихти можуть відколюватися і при бічному|боковому| ударі сколювати електрод. Для усунення “ мостів ” застосовують два види кисневих пальників:

|- в бічній|боковій| поверхні печі тангенціально розташовані|схильні| три водоохолоджувані пальники під кутом 300 до дотичної (рис. 2 а);

* + склепінні, вертикально розташовані пальники (рис. 2 б).

Можливе використання пальників, що вводяться через робоче вікно. Використання кисневих пальників дозволяє зменшити тривалість плавки на 15-20%, на 10% зменшити витрату електродів, матеріалів футерівки та інші, хоча загальна витрата енергії збільшується.

Для скорочення тривалості періоду плавлення доцільно створювати сприятливі умови для попутного окислення|окислений| фосфору. Для чого кількість залізної руди та вапняку розраховують так, щоб основність була більше 1,6, а концентрація FеO| в шлаку більше 12%. За цих умов окислюється|окисляється| більше 50% фосфору. Після|потім| повного|цілковитого| розплавлення шихти береться проба металу на аналіз. Якщо хімічний аналіз задовольняє, тоді скачується 75% шлаку. Якщо вуглецю за результатами аналізу менше, викачується весь шлак, проводиться|виробляє| вуглецювання за допомогою електродного бою і наводиться новий шлак шляхом присадки|добавки| вапна та плавикового шпату, і лише після|потім| цього починається|розпочинає| окислювальний період.



а б

Рис. 2. Схема розташування бічних|бокових| (а) і склепінних (б) газово-кисневих пальників

В процесі плавлення шихти в електродуговій печі доцільно застосовувати залізорудні окатки|. Вони сприяють інтенсивнішому плавленню, окисленню|окислений| вуглецю, що приводить|призводить| до стабільнішої роботи печі, збільшенню корисної потужності на 15-20%, зменшенню витрати окислювачів|окисників|, тобто|цебто| процес йде більш технологічно.

**Окислювальний період**

Завданням окислювального періоду плавки є:   
 - дефосфорація металу;  
 - максимальне видалення з металу розчинених газів;

- нагрів та перегрів металу на 100-150 0С вище за температуру ліквідусу та випуску плавки|плавлення|;

- приведення металевої ванни в стандартний стан|достаток| за ступеню|мірі| окисленості.

Якщо електроплавлення ведеться без пічного відновного періоду, то з'являється завдання видалити сірку в окислювальний період. Окислення фосфору супроводжується присадкою вапняку та залізної руди, причому присадка залізної руди починається тільки при добре прогрітій ванні металу. Руда і вапно завантажуються невеликими рівномірними порціями, причому інтенсивність кипіння спочатку затухає. При рівномірному завантаженні шлак стає пінний, рідкорухливий, здатним мимоволі стікати з робочого вікна. Все це приводить до того, що температура металу поступово підвищується, шлак оновлюється. Швидкість окислення вуглецю повинна бути спочатку 0,4-0,6% в годину, а к кінцю періоду 0,2-0,3%. Для контролю ходу періоду кожні 5 - 10 хв. беруться проби металу на експрес-аналіз, за яким визначаються концентрації фосфору і сірки. При вмісті фосфору менше 0,02% окислювальний період закінчують. При підтримці основності в межах 2,5-3,0 і вмісті FеO в шлаку 15-20% вміст фосфору легко доводиться до 0,01%. Для подальшого зменшення концентрації фосфору метал потрібно продувати порошкоподібним вапном. Технологічною інструкцією по виплавці електросталі передбачається, що вуглець повинен окислюватися на 0,2-0,3% для високовуглецевої сталі та приблизно на 0,5% для середньо -і низьковуглецевих. Для крупних печей цю межу можна трохи занизити. Дана кількість вуглецю, що видаляється, забезпечує як температурний режим, так і дегазацію. Процес зневуглецювання можна прискорити продуванням киснем. Це дозволяє при витраті 1200 м3/г кисню створити швидкість окислення вуглецю 3-4% в годину при первинному вмісті його до 1%. Якщо ж вуглецю було 0,2-0,3%, то ця швидкість зменшиться до 0,7-0,8% в годину. Застосування газоподібного кисню збільшує продуктивність на 5-10% і зменшує енерговитрати на 5-12 %. В процесі продування безперервно беруться проби металу, до кінця періоду вміст вуглецю повинен бути менше нижньої межі , оскільки при подальшому періоді феросплави та графіт електродів вуглецюють метал. Вміст марганцю в окислювальний період, як правило, не регламентується, електроплавлення протікає по рівноважній кривій його окислення, при цьому із зростанням температури і зменшенні ступеня окисненості шлаку марганець починає відновлюватися. Це приводить до того, що приблизно 20% його до кінця окислювального періоду залишається в металі.

В процесі окислення|окислений| в шихті практично повністю|цілком| окислюється|окисляється| хром. Отримання|здобуття| тугоплавких оксидів хрому призводить до зниження рухливості шлаку, його рідкотекучості. Це негативно|заперечний| позначається на ході електроплавлення. Крім того, при насиченні оксидами хрому шлак зеленіє. Тому прагнуть зменшити попадання хрому в шихтовку|, проте|однак| його попадання неминуче через невелику кількість хрому і нікелю. Для хрому в шихтовці| є обмеження – 0,4%. З|із| хромом можна поступити|вчинити| таким чином: за допомогою газоподібного кисню різко підіймають температуру, це приводить|призводить| до того, що в стандартному стані|достатку| в металі окислюється|окисляється| вуглець, а не хром. Хоча швидкість окислення|окислений| в даному випадку вище, ніж без кисню, і, як наслідок|зрештою|, частково хром можна відновити з|із| шлаку. Порошок графіту перетворює зелений шлак в карбідний.

Загальна тривалість окислювального періоду хв., а із застосуванням газоподібного кисню – до 30 хв. В окислювальний період може окислюватися до 30% сірки, а в деяких випадках до 60%. Цьому сприяють висока температура і низький ступінь окисненості шлаку.

**Відновний період (рафінування)**

Після скачування окисленого шлаку розплав при необхідності вуглецюють, наводиться рафінувальний шлак з шпату кг/т сталі та вапняку кг/т сталі.

Після окислювального періоду в металі вміст вуглецю нижчий за нижню межу, кремнію немає, марганцю залишилося 20-25%, сірки 50%, фосфор видалили приблизно на 80%, в надлишку залишається тільки кисень в металі.

Розкислювання в печі може протікати за двома напрямами:

- глибинне;

- дифузійне.

Перший напрям|направлення| – це глибинне розкислювання. При виплавці сталі під одним шлаком (без наведення відновного|) після|потім| закінчення окислювального періоду в піч досаджують кусковий| ФС45 та ФС75 (0,1%). Тривалість розкислювання в печі складає 10-20 хв., після чого метал зливається, і остаточно розкислюється алюмінієм. Застосовують даний спосіб переважно для великих печей (100 - 200 т|). В даний час,|нині| у зв'язку з різким падінням об'ємів|обсягів| виплавки, метал зазвичай|звично| доводять в печі. Крім того, при глибинному розкислюванні в металі залишається безліч неметалевих включень, метал не може досягти низького вмісту|вмісту| вуглецю.

Другий варіант – дифузійне розкислювання під “білим” або карбідним шлаком. Дифузійне розкислювання триває до 50 хв., що дозволяє якісно видалити надлишки кисню, ближче звести фактичну криву до рівноважної О2-С і отримати метал з дуже низьким вмістом оксидних включень. Завданням відновного періоду є: безпосередньо розкислювання металу, видалення сірки, коректування хімічного складу металу, регулювання температури і підготовка до випуску рідкорухливого відновного шлаку. На початку відновного періоду вміст вуглецю повинен бути на 0,03-0,1% нижче за нижню межу готової марки сталі. Якщо вуглецю не вистачає, то металева ванна заздалегідь вуглецюють електродним боєм або коксиком, засвоєння приблизно 70%.

Відновний період починається з наведення шлаку. Відновний шлак наводиться шляхом завантаження суміші (вапно: плавиковий шпат: шамот 5:1:1). Протягом 10-15 хв. формується шлак, в процесі присадки порошків вуглецю і кремнію на такий шлак в печі створюється відновна атмосфера, що приводить до відновлення заліза та інших елементів. При цьому значно знижується вміст оксидів заліза в шлаку, і з металу за рахунок дифузії кисень переходить в шлак. При дифузійному розкислюванні під білим шлаком, коли шлак покривають порошком коксу і ФС75, протягом 25-40 хв. відбувається відновлення, і після охолодження такого шлаку він розсипається на білий порошок. Витрата коксу до 2 кг на тонну. Якщо витрата підвищується до 3 кг, то вуглецю вистачить не тільки для відновлення, але і на відновну атмосферу, тобто СО, при цьому утворюється СаС. При дифузному розкислюванні під білим або карбідним шлаком вміст кисню лише наближається до рівноважної концентрації, і при цьому метал насищається вуглецем. Під білим шлаком насичення складе 0,02-0,04%, під слабокарбідним 0,03-0,06%, під карбідним до 0,1%.

Таким чином, роль дифузійного розкислювання зводиться до оптимізації

концентрації кисню. Даний спосіб більше придатний для малопотужних печей,

хоча при цьому час розкислювання може досягти двох годин.

Порівнюючи два напрями видно, що обидва володіють недоліками і для їх усунення до розкислювання підходять комплексно.

При комплексному розкислюванні після|потім| скачування окислювального шлаку в піч досаджують феросплави, алюміній або сплав АМС (Al-Mn-Si|), кількість таких присадок|добавок| повинна забезпечити необхідний склад. Потім заводять відновний шлак, обробляючи його порошками феросплавів і коксу із|із| зменшенням присадок|добавок| коксу. В результаті|унаслідок| такої обробки, шлак стає слабокарбонатним | або “білим”, який містить FeО<0,6%|, |утримує| 50-60% СаО| при основності В=2,5-3,0. Шлак характеризується високою десульфуруючою здатністю|. Чим більше віддаляється сірки, тим шлак більш рухомий|жвавий| і основність зберігається. Підтримка рідкорухливості та текучість протікає за рахунок плавикового шпату, зазвичай|звично| коефіцієнт розподілу сірки 50-40, в кращому разі|щонайбільше| - 60.

Перед випуском металу присаджується алюміній, який глибоко розкислює метал і при цьому 0,02-0,05% алюмінію залишається в металі. Цей алюміній необхідний для компенсації захоплення кисню струменем металу при випуску і розливанні. Також алюміній сприяє формуванню зерна металу, оскільки 70-90% неметалічних включень в металі на основі глинозему, що приводить при прокатці до розриву листа по ланцюжку включень. Остаточний вміст кисню в металі забезпечується застосуванням рідкоземельних металів, але це дуже дорого. При комплексному розкислюванні, коли на початковому етапі глибинного розкислювання вводяться подвійні та потрійні розкислювачі, неметалічні включення представлятимуть форму, що складається з складних комплексних з'єднань.

Другим завданням відновного періоду є доведення плавки до заданого хімічного складу. Для цього на початку періоду відразу після утворення шлакового покриву відбирається проба металу для визначення вуглецю, марганцю, хрому і нікелю. При дифузійно-осадковому розкислюванні марганець вводять для отримання нижньої межі заданого вмісту, при цьому враховується, що деяка кількість марганцю може відновитися з шлаку окислювального періоду, що залишився в невеликій кількості .

Ферохром вводять|запроваджують| в піч на початку періоду, причому при виплавці високохромистих сталей| ферохром нагрівають до червоного кольору|цвіту| в нагрівальних печах, що сприяє збільшенню продуктивності, зменшенню витрат|затрат| електроенергії і футерівки.

Для коректування вмісту хрому після деякої витримки відбирають дві проби для уточнення присадок і ступеня його засвоєння. При цьому хром вводиться з урахуванням вмісту вуглецю, оскільки у ферохромі вміст вуглецю доходить до 8%. Використання дешевшого вуглецевого ферохрому вигідніше, тому для коректування вводиться вуглецевий ферохром. Коректування за вмістом хрому необхідно виконати не пізніше, ніж за 10 хв. до випуску, ступінь засвоєння хрому складає 95-98%.

Нікель володіє значно меншою спорідненістю до кисню, тому він завантажується в період завалення. Кількість нікелю або феронікелю в заваленні вводиться|запроваджує| так, щоб його вміст|вміст| доходив до нижньої межі. Електролітичний нікель бажано вводити|запроваджувати| ще до кипіння тому, що він містить|утримує| водень. Тому основне коректування по нікелю проводиться|виробляє| в окислювальний період, а у відновний не пізніше чим за 10 хв. до випуску, коректують нікель не більше ніж на 0,2%. Засвоєння нікелю при виплавці сталі складає 100%. Для виплавці конструкційних сталей|, де вміст|вміст| нікелю незначний, легування проводиться|виробляє| феронікелем, враховуючи вміст|вміст| кобальту і міді, які вносяться. Для високолегованих і нержавіючих|нержавіючих| сталей| доцільно вводити|запроваджувати| електролітичний нікель.

Молібден практично не окислюється у ванні, тому феромолібден вводять в період кипіння з розрахунку на нижню межу. Для сталей з великим вмістом молібдену, феромолібден вводять в завалення в центральну частину під електроди. Замість молібдену вводять порошок СаМоО4, причому порошок можна вводити як в завалення, так і на початку окислювального періоду. Порошок СаМоО4 добре відновлюється залізом в печі.

На відміну від молібдену, вольфрам більш тугоплавкий, тому завантаження феровольфраму проводиться в період завалення. Остаточне коректування слід проводити не пізніше, ніж за 30 хв. до випуску і не більше 0,02%.

Вольфрам і молібден - важкі|тяжкі| метали, що осідають на подину| печі, і для їх кращого засвоєння необхідне інтенсивне перемішування металу.

Такі елементи як ванадій і титан, які легко окислюються,|окисляються| вводяться|запроваджують| не раніше ніж за 15 хв. до випуску металу в добре нагрітий і розкислений метал. При цьому ступінь|міра| їх засвоєння доходить до 50%. В цілому|загалом| тривалість відновного періоду залежить від процесу утворення відновного шлаку, дифузійного розкислювання шлаку, процесу десульфурації і легування. В цілому|загалом| це складає 60-120 хв. залежно від місткості|місткості| печі. Для прискорення періоду існує спеціальне видозмінення технології: процес розкислювання, десульфурації та коректування хімічного складу виноситься в установку ківш-піч. Друга технологія передбачає донне продування металу в електропечі.

**3 Виплавка сталі в кислих дугових електропечах**

В основному кислі дугові печі застосовуються для виплавки сталі, призначеною для фасонного лиття. Кисле електроплавлення має ряд переваг в порівнянні з основною:

1. Нагрів металу до потрібної температури здійснюється легше, ніж в основних електропечах. Кислі шлаки менш електропровідні, чим основні, тому частина потужності виділяється безпосередньо в шлаку. Електричні дуги коротші, що сприяє кращій передачі тепла металу. Завдяки низькій теплопровідності кислих вогнетривких матеріалів зменшуються теплові втрати через кладку, що також сприяє швидшому нагріву металу.
2. Нижча витрата електроенергії на плавлення.
3. Менша тривалість електроплавлення, що особливо важливе при

виробництві сталевого лиття у зв'язку з необхідністю частої видачі металу для заливки форм.

1. Нижча вартість кислої футерівки.
2. Вища стійкість кислої футерівки: стійкість стін і склепіння в кислих електричних печах значно вища, ніж в основних.
3. Низька теплопровідність шлаку зменшує втрати тепла металом у ковші, що забезпечує відливання тонкостінних виробів.

Але при цьому вона має і свої недоліки. У кислій електропечі не можна видалити з металу сірку і фосфор, тому необхідно застосовувати низькофосфористу і низькосірчисту шихту. У кислих печах не можна виплавляти сталі з високим вмістом марганцю, оскільки марганець при високих температурах є відновником для SiO2, тобто з шлаку і кислої футерівки відновлюватиметься кремній. Кислим процесом можна виплавляти сталь, леговану тільки такими елементами, як мідь, нікель, молібден, кремній.

**Завалення і розплавлення шихти**

Шихта при електроплавленні складається з 50-70% власних відходів, а також з вуглецевої сталі. У зв'язку з тим, що сірка і фосфор не видаляються, їх вміст не повинен перевищувати 0,04-0,05%. Вуглецевий лом не повинен бути іржавим: оксиди заліза просочують подину, знижують її вогнетривкість і стійкість. Вміст вуглецю регламентується так, щоб в заваленні його було більше на 0,1 – 0,2% заданої марки сталі. Для підвищення вмісту вуглецю до складу шихти вводять деяку кількість коксу, електродного бою або чавуну. Завалення проводять так, щоб крупні шматки потрапляли безпосередньо в область дуги, а дрібні - на укосах і поверх крупного лому. Максимальна маса окремих шматків не повинна перевищувати 1/50 маси всього завалення. Процес розплавлення шихти в кислій печі відбувається так само, як і в основній. Електроди поступово проплавляють колодязі в шихті, і дуги горять над рідким металом. При нижньому положенні електроду можливий перегрів і руйнування футерівки днища печі. В період плавлення шихта частково окислюється киснем повітря. Оксиди заліза, що утворюються при цьому, окисляють кремній і марганець, хром і ванадій. Утворюється шлак, який частково розмиває футерівку. В кінці розплавлення шлак має приблизно наступний склад: 40- 50% SiO2, 15 – 30% FeO, 10 – 30% MnO, 2 – 6% Al2O3, до 15% інших оксидів.

**Окислювальний період**

Основною окислювальною реакцією в кислій плавці є окислення вуглецю, розчиненого в металі, яке викликає кипіння ванни:

(FеO) + [C] = [Fe] + {CO}

(MnO) + [C] = [Mn] + {CO}

(SiO2) + [C] = [Si] + {CO}.

Також протікають реакції окислення або відновлення кремнію і марганцю:

2(FеO) + [Si] = 2[Fe]+ (SiO2)

2(MnO) + [Si] = 2[Mn]+ (SiO2)

(FеO) + [Mn] = [Fe] + (MnO).

Кремній може відновлюватися оксидами заліза і марганцю, а марганець тільки оксидом заліза. Розвиток тієї або іншої реакції залежить від складу металу, шлаку, від температури металу і стану шлаку.

Марганець і залізо можуть відновлюватися тільки|лише| з|із| оксидів, розчинених в шлаку, а кремній – як з|із| кремнезему, розчиненого в шлаку, так і з|із| кремнезему футерівки. При високому вмісті закису заліза в шлаку і високим значенням його рідкорухливості| кремній і марганець окислюється|окисляється| в період плавлення. Вміст вуглецю в металі після розплавлення повинен бути на 0,1-0,2% вище, ніж в готовій сталі.

Відновлення кремнію і марганцю з |із| рідкорухливого | шлаку може відбуватися|походити| і при низьких концентраціях (FеO|). Якщо концентрація (FеO|) дорівнює 8%, а закиси марганцю 22%, то кремнію знаходитиметься|перебуватиме| в металі 0,17%. Він може відновлюватися і при високій концентрації закису заліза, але|та| при цьому шлак повинен бути густим, а швидкість відновлення повільною. Вуглець при високій температурі відновлює кремній з|із| футерівки. Але|та| при рідкорухливом| шлаку відразу ж відновлений кремній взаємодіє з|із| FеO| і MnO|, тобто|цебто| кремній завжди знаходитися|перебувати| в термодинамічній рівновазі.

Окислювальний період в кислій печі протікає наступним чином. Після розплавлення концентрація вуглецю в металі повинна бути на 0,1-0,2% вище, ніж в готовій сталі.

Окислення домішок протікає закисом заліза з шлаку, при необхідності в піч вводять 0,2% залізної руди (від маси металу), після порції, що прореагувала, вводять наступні порції руди: якщо відразу ввести велику кількість руди, то різко зростатиме негативний її вплив. У початковий період окислювального періоду шлак має наступний склад: 40 – 50% SiO2, 30 – 40% FеO, 15 – 20% MnO. Такий шлак дуже рідкорухливий. При збільшенні температури він взаємодіє з металом, тобто починається окислення вуглецю і кипіння металу.

По ходу плавки вміст (FеO) зменшується, а (SiO2) збільшується. Це відбувається як із-за взаємодії шлаку з вуглецем металу, так і внаслідок періодичних присадок піску у ванну, а також розчинення в шлаку кремнезему поду. Кількість відновленого кремнію залежить від температури та рухливості шлаку. До кінця окисленого періоду вміст SiO2 в шлаку підвищується до 56-60%, що є причиною збільшення в'язкості. В окислювальний період вміст кремнію в металі зазвичай підвищується до 0,15-0,2%. При дуже інтенсивному ході плавки вміст кремнію в металі може складати 0,5%. Для зменшення активності на шлак досаджують вапняк. Рідкорухливість шлаку – основний регулятор ходу плавки, тому протягом всієї плавки в піч завантажується або пісок, або вапно. Тривалість окислювального періоду при виплавці легованої сталі складає 30 – 50 хв., а при виплавці вуглецевої сталі 20 – 30 хв.

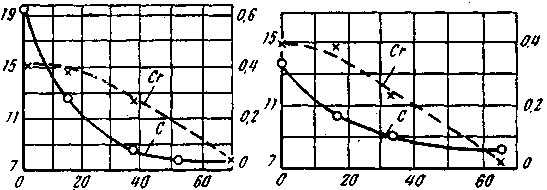
**Розкислювання сталі**

При виплавці вуглецевої сталі для фасонного лиття відновний період

зазвичай відсутній. Часткове розкислювання здійснюється в окислювальний період за рахунок відновлення кремнію. Присадка феромарганцю в кінцевій стадії окислювального періоду сприяє відновленню кремнію та підвищує вміст марганцю в металі до 0,2 – 0,3%. За 7 – 10 хв. до випуску металу вводиться необхідна кількість феросиліцію, за 3–5 хв. до випуску - феромарганець для остаточного коректування вмісту марганцю в сталі. При визначенні кількості феросиліцію і феромарганцю приймають, що вигар кремнію складає 5 – 10%, а марганцю 15 – 20%. Для зменшення вигару марганцю рекомендується присадку| феромарганцю проводити у ковші, тоді вигар зменшується в 2 рази. При виплавці легованої ливарної сталі після|потім| окислювального періоду видаляється 60 – 80% шлаку, і наводиться новий шлак шляхом присадки|добавки| 1–2% (по масі) кварцового піску і шамоту|, а також 0,5 – 1% вапняку. Після|потім| утворення легкорухомого шлаку метал розкислюють феромарганцем або феросиліцієм і потім|і тоді| легують хромом, кремнієм та іншими елементами. Можна розкислювати леговану сталь дифузійним методом, для цього після|потім| скачування 60 – 80% шлаку в піч вводять|запроваджують| 0,5% феромарганцю, 0,5% вапняку, 1-2% шамотного бою. Після|потім| розчинення шлаку його обробляють меленим коксом і феросиліцієм, після чого метал легують. Остаточне розкислювання проводять|виробляють| алюмінієм, який запобігає появі пористості.

**Продування ванни киснем у кислих печах**

При виплавці вуглецевих низьколегованих сталей ванну продувають киснем за допомогою заглиблених кисневих трубок, футерованих спеціальною обмазкой. Кисень подається під тиском 3 – 6 ат. (2,94·105 – 5,88·105 Н/м2). Продування продовжується 2-3 хв. За цей час вміст вуглецю в сталі знижується приблизно на 0,2%. Після закінчення продування береться проба металу на хімічний аналіз і проводиться корегування складу феромарганцем, ферохромом, феросиліцієм. З продуванням киснем виплавляють також нержавіючу сталь для фасонного литва. Шихта складається з власних відходів, стружки нержавіючої сталі. Після розплавлення і нагріву металу до 1600 - 1650 0Спочинають продування металу киснем, при цьому хром і вуглець окислюються. В результаті окислення хрому підвищується температура металу, що сприяє інтенсивному окисленню вуглецю: чим нижче необхідний кінцевий зміст вуглецю, тим вище повинна бути температура і тим більше повинно окислюватися хрому. При цьому первинний вміст вуглецю не надає значного впливу на кінцевий вміст вуглецю, а також на вигар хрому, тому після розплавлення вміст вуглецю у ванні склав 0,5 - 0,6%. Хром починає окислюватися тільки після пониження вмісту вуглецю до 0,2 - 0,3%. Надалі одночасно з окисленням вуглецю окислюється і хром (рис. 3 а). При низькому вмісті вуглецю в металі після розплавлення він окислюється з меншою швидкістю (рис. 3 б). Витрата кисню на продування ванни, а також кількість окисленого хрому залежать від кінцевого, а не від початкового вмісту вуглецю в сталі.



**Вміст вуглецю, %**

**Вміст хрому, %**

а  **Витрата кисню, м3/т** б

Рис. 3. Вміст вуглецю та хрому у ванні 1,5 т електричної печі залежно від витрати кисню при продуванні ванни:

а- високий початковий вміст вуглецю; б-| низький початковий вміст|вміст| вуглецю.

Шлак, який утворюється після|потім| продування, містить|утримує| до 30% окисленого хрому, 40% кремнезему, 10% закисі заліза. Відновлення феросиліцієм супроводжується|супроводиться| значним| підвищенням вмісту|вмісту| кремнію в металі. Це пояснюється|тлумачить| високою активністю кремнезему в кислому шлаку, що зменшує розкислювальну здатність кремнію в порівнянні з розкислювальною здатністю| кремнію в основному процесі. З цих причин шлак зазвичай|звично| не розкислюють.