**Практичне завдання №3**

**Електроплавлення сталі у відкритих електродугових печах прямої дії 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.

**1. 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.

**2. 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.

**3.** **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. 7.5 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. 7.5 б).

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

Рис. 7.5. 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. 7.6 а);

* + склепінні, вертикально розташовані пальники (рис. 7.6 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.

а б

Рис. 7.6. Схема розташування бічних|бокових| (а) і склепінних (б) газово-кисневих пальників

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.

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.

**4. 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.

**5. 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.