

ПЛАЗМОВО-ДУГОВІ ПЕЧІ З ФУТЕРОВАНИМ (КЕРАМІЧНИМ) ТИГЛЕМ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Корнева Ю. Ю., Ремізов Г. О., Готвянський Ю. Я.

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут ”

В даній роботі розглянуті плазмово-дугові печі постійного струму футеровані вогнетривами, які призначені для виплавки високоміцних сталей та спеціальних сплавів.

В данной работе рассмотрены плазменно-дуговые печи постоянного тока футерованные огнеупорами, которые предназначены для выплавки высокопрочных сталей и специальных сплавов.

This work had examined the arc-plasma furnace of direct current lined by the refractory materials, which destined for smelting of high-strength steel and special alloys.

Постановка задачі дослідження

Метою дослідження є заміна в плазмово-дуговій печі керамічної футерівки електродуговим плазмотроном.

Результати досліджень

Вперше електричну дугу, що вільно палає в одноелектродній сталеплавильній печі з керамічною футерівкою замінили електродуговим плазмотроном американські металурги. Це було зроблено на фірмі Лінде, що входить в склад Umon Carbide Corporation.

Саме ця робота американських дослідників поклала початок використання низькотемпературної плазми в металургії. Ідея американського патента була проста і невибаглива.

Будова і конструкція плазмово-дугових печей з керамічним тиглем схожі з конструкцією дугових сталеплавильних печей (ДСП) і працюють вони на тому ж принципі, що і ДСП, з тією різницею, що в якості джерела нагріву (дуга) замість графітованих електродів застосовується плазмотрон (рис.1).

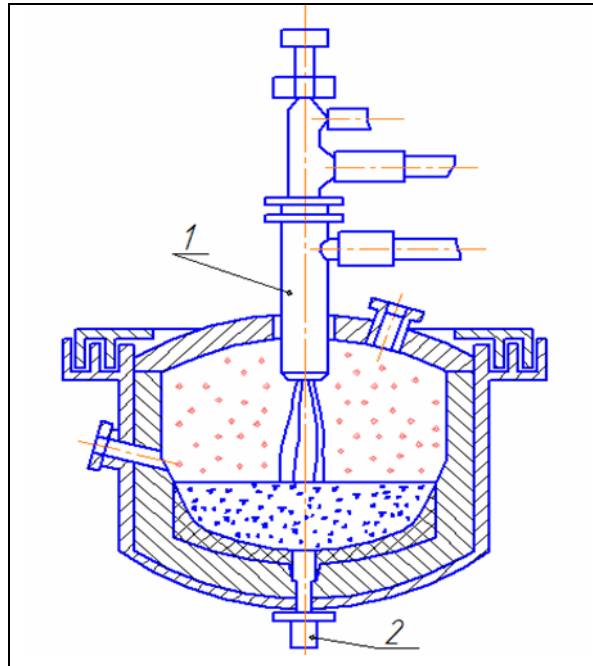


Рис.1. Схема плазмово-дугової печі з керамічним тиглем
1-плазмотрон; 2-подовий електрод

Стовп плазмової дуги є більш інтенсивним і більш концентрованим джерелом тепла, ніж електрична дуга. Стовп плазмової дуги стабілізований газом має температуру $2 \cdot 10^4 \text{K}$; він скерований безпосередньо на метал в напрямку осі плазмотрона. Плазмова дуга горить настільки стабільно, що відхилення сили струму і падіння напруги від заданих величин не перевищують 2%. В звичайних електродугових печах коливання сили струму в період плавлення шихти досягають $\pm 50\%$ від середнього значення. Завдяки стабільності електричного режиму плазмової дуги її регулювання зводиться до незначного варіювання реактивного опору трансформатора.

Технологія виплавки металу, як і при плавці в ДСП включає завалку і розплавлення шихти, наведення основного шлаку, рафінування і випуск металу.

Враховуючи, що плазмово-дугові печі з керамічним тиглем працюють при тисках близьких до атмосферного, то в якості джерела нагріву ціле-направлено приймати дугу стабілізовану подовжнім потоком газу.

Простота конструкції цих печей в порівнянні з вакуумними плазмово-дуговими печами полегшує проведення таких технологічних операцій, як наведення шлаку, продувка металу і інші.

При розробці конструкції і технології плавки в плазмових печах з керамічним тиглем необхідно поєднувати в собі властивості звичайної

електродугової плавки з можливістю отримання металу по якості, яка наближається до вакуумно-індукційної плавки.

Плазмово-дугові печі з керамічним тиглем можуть працювати, як на постійному, так і на змінному струмі. Найбільше застосування отримали печі, які працюють на постійному струмі.

Такі печі футеровані вогнетривами, розроблені, споруджені і експлуатуються в Росії, Німеччині, Австрії, Англії, Японії і в Україні. [1]

В печах постійного струму анодом служить твердий, шматковий метал, шихта у вигляді шматка або рідкий метал, струм до якого підводиться через встановлений в подині печі спеціальний подовий електрод (див. рис. 1.)

Подовий електрод виконується залежно від конструкції подини і технології плавки, але в основному його виготовляють із біметалу (сталь – мідь) з інтенсивним водяним охолодженням і надійною сигналізацією, що спрацьовує при зносі електроду. Розрахунок таких електродів наведений в роботі [1].

Термін служби електроду повинний бути не менший терміну служби подини. З цією метою проводяться роботи із створенням подових електродів, що не водоохолоджуються, виготовлених з тугоплавких металів чи електропровідних неметалевих матеріалів (наприклад: графіт).

Так, наприклад, для забезпечення повної вибухобезпеки сталеплавильної печі (типу ВПП, місткістю 1т) застосовують металокерамічний подовий електрод, який представляє собою монолітний циліндр діаметром 0,1 м, виготовлений шляхом гідростатичного пресування дрібнодисперсних порошків (питомий електроопір 0,28 – 0,32 Ом·мм²/м при 20°С), який має високу щільність, та не змочується рідким металом і хімічно з ним не взаємодіє.

В даний час в промисловості експлуатуються і будуються подібні печі, які практично не відрізняються від дугових сталеплавильних печей за формою ванни та матеріалами, що використовуються для футерівки подини і робочого простору.

Фірмою Linde розроблено низку плазмово-дугових печей різного призначення місткістю від 12 кг до 1,8 т для виплавки високоміцних сталей і спеціальних сплавів з отриманням зливків великих габаритів у виливницях або виробів у ливарних формах.

Плазмово-дугові печі, що випускає за ліцензією фірма Brown Bowery and Co. (ВПС, Мангейм), мають футерівку таку, як і звичайні дугові печі. Залежно від місткості печі в її конструкції використовуються поворотне склепіння або склепіння, яке повністю знімається з печі під час їх завантаження. На печах з поворотним склепінням завантаження може

виконуватися вручну або за допомогою спеціальної завантажувальної корзини /цебера/.

В стінах печей зроблені вікна для введення легуючих добавок в металеву ванну та отвори для скачування шлаку під час плавки.

Слід відзначити, що на думку багатьох спеціалістів, плазмово-дугові печі повинні мати дещо іншу геометричну форму робочого простору ніж дугові печі. Крім того, для забезпечення оптимальних теплових умов роботи вогнетривкої кладки та максимального теплового ККД агрегату необхідно інше розташування плазмотронів на печі, ніж графітових електродів.

Фірмою «Фест Альпіне» випускаються печі для прецизійного лиття малої місткості (12 кг) напругою 40 кВт. Швидкість плавки складає 1,2 кг/хв., стійкість футерівки – 200 плавок.

Використовування плазмотронів постійного струму обумовлено більш стійкішим характером дуги і стабільністю робочого режиму печі. Досвід підтверджує, що печі місткістю до 6 т доцільно обладнати одним плазмотроном, введеним вертикально через склепіння. При створенні плазмотронів на струм 15 – 20 кА, місткість ванни рідкого металу може бути розширена до 12 – 15 т.

Перевагою плазмової плавки з вертикальним положенням плазмотрона являється:

- відносно висока стійкість футерівки стін зважаючи на більш рівномірне теплове навантаження на футерівку;
- спрощення конструкції вузла ущільнення, так як плазмотрон переміщується тільки поступально;
- піч простіше герметизувати;
- зменшуються габарити печі.

В залежності від місткості і потужності піч має один або декілька плазмотронів, які вводяться в пічний простір через склепіння або похило через стіни. Відстань між дзеркалом металеві ванни і плазмотроном можливо регулювати, оскільки кожен з них має індивідуальний механізм вертикального переміщення. Печі великої місткості потрібно в основному облаштовувати декількома плазмотронами, розташованими в корпусі печі вертикально або похило.

Плазмотрони печей забезпеченні механізмами переміщення, які дозволяють змінювати довжину дуги між електродом і розплавленим металом, що є додатковим пристроєм управління потужністю під час експлуатації печі. Вузол запровадження плазмотрона в піч виконується герметичним.

Хоча при використанні декількох вертикально розташованих в склепінні плазмотронів до недоліків можна віднести електродинамічну дію дуг.

При похилому розташуванні плазмотронів у вікнах вертикальної стіни електродинамічна дія дуг практично відсутня.

При такому розміщенні плазмотронів стає можливим їх установка в спеціальних касетах ,які під час плавки можна швидко знімати та замінювати на інші. Похиле розташування плазмотронів в стінці печі, незважаючи на простоту заміни плазмотронів і відсутність електродинамічного стягування плазмових дуг, відзначається значними тепловими навантаженнями на футерівку печі в місцях установки плазмотронів.

Печі з декількома похило розташованими плазмотронами є більш продуктивними і менш енергоємними, вони мають покращений тепловий коефіцієнт корисної дії.

За такою багатоплазмовою схемою працюють великовантажні печі в Німеччині і Австрії . При цьому плазмотрони розташовують в боковій стінці футерівки в горизонтальній площині під кутом 120° і нахилені всередину робочого простору під кутом 45° . Така конструкція забезпечує можливість швидкої заміни пошкодженого плазмотрона в процесі плавки (без виключення печі).

Масштабні роботи створення плазмової металургії в середині 60-х років минулого століття розпочалися в колишньому Радянському союзі і Німецькій Демократичній Республіці (НДР).

У 1969 році на металургійному комбінаті ім. Г. Боймера (м. Хенінсдорф, НДР) була введена в експлуатацію плазмово-дугова піч місткістю 3 т. Піч було створено на базі дугової сталеплавильної печі і вона могла працювати з одним або трьома плазмотронами.

У 1972 році на заводі якісних сталей (м. Фрайтом) ввели в експлуатацію плазмово-дугову піч місткістю 10 т. Піч оснащена трьома дуговими плазмотронами розрахованими на струм до 6,0 кА і напругою 200-600 В. Сумарна потужність плазмотронів становить 2,5 - 3,0 МВт. На тому ж заводі через п'ять років у 1977 році було введено до ладу тридцятитонну плазмово-дугову піч. Її було створено за участі спеціалістів Радянського Союзу. Футерівку печі виконано з використанням хромомagneзитової цегли і набивки з цього ж матеріалу. Піч оснащена чотирма дуговими плазмотронами, які з нахилом встановлені в стіні печі. Плазмотрони живляться від джерела постійного струму.

Дослідний інститут фірми Krupp (м. Гессен, ФРН) в середині 80 – х років минулого століття розробив дугові плазмотрони потужністю 2 МВА

(номінальна сила струму до 4 кА) та випробував їх на печі місткістю 3,0 т. Як шихту було використано сталевий скрап і губчате залізо.

Першу в Радянському Союзі діючу плазмово-дугову піч з керамічною подиною було уведено в промислову експлуатацію на заводі «Сибелектросталь» у 1968 році. Місткість печі становила 1000 кг. Згодом, у 1970 році, на Челябінському металургійному комбінаті почала працювати 5-ти тонна плазмово-дугова піч. Пізніше садку печі удалось збільшити до 7 тонн. Піч працювала з одним плазмотроном постійного струму, який було створено сумісними зусиллями спеціалістів ВНДІЕТО (м. Москва) та Челябінського металургійного заводу. Створені плазмотрони могли достатньо стабільно працювати упродовж всієї плавки на струмі до 10 кА і напрузі на дузі 200-400 В.

У 70-х – 80-х роках минулого століття в Радянському Союзі було створено низку плазмово-дугових печей з керамічною подиною місткістю від 250 кг до 12 т (табл.1). Крім того, в співдружності зі спеціалістами НДР було розроблено та введено в експлуатацію на заводі якісних сплавів (НДР) найбільшу на пострадянському просторі плазмово-дугову піч місткістю 30 т. Живлення двох типів печей здійснюється змінним струмом (ПДП - 0,5 та ОКБ – 1494). На печах місткістю 5 та 12 т (табл.1) охолодження плазмотронів та подового електроду, як найбільш навантажених в тепловому відношенні елементів печей, здійснюється хімічно очищеною водою в режимі замкнутого контуру.

Основною особливістю печей являється необхідність керування її потужністю шляхом зміни робочого струму дуги. Тому обов'язковим елементом установки є кероване джерело постійного струму.

Для перемішування рідкого металу в подину печі вмонтовують соленоїди, послідовно ввімкнені в контур живлення плазмотрона. Магнітне поле цих соленоїдів, взаємодіючи з магнітним полем, що створилося в результаті протікання через ванну електричного струму, викликає рух рідкого металу. Можливі різні схеми електромагнітного перемішування.

На сьогодні найбільшою плазмово-дуговою піччю, яка була створена для промислового використання, можна вважати піч, що працює в Австрії. У 1983 році на металургійному заводі фірми Voest-Alpine (м. Лінц) було уведено в експлуатацію плазмово-дугову піч місткістю 45 т замість дугової електропечі, що використовувалась раніше. Піч виготовлена за ліцензією підприємства ESW-Freital (Німецька Демократична Республіка). Діаметр ванни печі 5,8 м, встановлена потужність $(29-36) \cdot 10^3$ кВА. На печі встановлено 4 плазмотрони постійного струму потужністю 6000-7500 кВт. Плазмотрони встановлені з нахилом у вікнах стіни. Продуктивність печі становить 24-28 т/год. при середніх витратах електроенергії 480 кВт/т. Повідомляється, що стійкість катодів плазмотронів становить 5 год., а

сопел – 30 год. Футерівка стінок печі відпрацювала 150 плавок, подина 450 плавок, склепіння 120 плавок. Плавки здійснюються в атмосфері аргону

Таблиця 1. Технічні характеристики плазово-дугових печей з керамічною футерівкою, розроблених в СРСР

Показники	Одиниця виміру	Тип печі					
		ПДП-0,25	ОКБ-1220	ПДП-0,5	ПДП-5	ОКБ-1354	ОКБ-1494
1	2	3	4	5	6	7	8
Місткість	т	0,25	0,25-0,5	0,25-0,5	5-7	5	12
Кількість плазмотронів	шт	1	1	3	1	1	3
Плазмотворючий газ	-	Ar, H ₂ , N ₂	Ar	Ar	Ar, N ₂	Ar	Ar, N ₂
Електричні параметри плазмотронів:							
- струм max	кА	2,0	2,0	1,0	9,0	6,5	6,5
- напруга max	В	100	150	135	400	460	460
- потужність max	кВт	200	300	135	3600	3000	3000
Діаметр плавильного простору	м	0,64	0,60	0,73	2,1	2,77	2,7
Висота плавильного простору	м	0,39	0,40	0,465	1,0	1,30	1,25
Діаметр розпаду плазмотронів	м	-		0,4	-	-	1,1

Перехід від дугової плавки до плазової дозволив підвищити вихід придатності виплавленого металу у 1,5 рази. Втрати легуючих елементів Cr, W, Mo, V зменшилися на 4-1-3-6 % відповідно. Крім того, відзначається, що покращилися умови праці при збереженні на тому ж рівні експлуатаційних витрат.

В теперішній час є технічне рішення для виготовлення печей місткістю до 50 т. Єдине питання – це економічність в порівнянні із звичайною дуговою плавкою.

Досвід експлуатації 30 т печі в Німеччині показав, що в нормальних умовах вона по економічності не поступається відкритій дуговій печі. Розрахунки показують, що витрати на виготовлення плазмотронів, віднесені на 1 т виплавленої сталі для габаритних печей нижчі, ніж витрати на графітові електроди для дугових печей аналогічної конструкції.

Плазмово-дугові печі з керамічним тиглем мають спеціальну систему подачі робочого газу в плазмотрон. Система подачі газу повинна мати апаратуру для контролю, регулювання і реєстрації витрат робочого газу, а також прилади, які вимірюють вміст в газі шкідливих домішок (кисню, вологи, азоту). При відхиленні заданих параметрів від норми передбачається блокування, яке вимикає піч.

В системі охолодження водою плазмотрону і подового електроду необхідно забезпечити контроль і реєстрацію витрат води і її температури, а також відповідне блокування.

Плазмові плавильні печі, які працюють на постійному струмі, мають вельми істотний недолік – наявність в конструкції печі водоохолоджуваного подового електроду.

До недоліків відносяться також:

- магнітна взаємодія паралельно палаючих плазмових дуг, що може призвести до аварійного виходу з ладу плазмотрона ;
- наявність коштовного випрямного устаткування ,яке займає значні виробничі площі.

Висновок

Звичайні методи виробництва металів і сплавів навіть при суттєвому їх удосконаленні не можуть забезпечити повною мірою рівень якості, який потребують різні галузі техніки. Для того, щоб більше задовольнити вимоги споживачів металургійної продукції почали використовувати плазмово-дугові печі з (футерованим) керамічним тиглем постійного струму.

Література

1. Плавильні агрегати спеціальної металургії. Атлас: У 3ч./ Автори Г. О. Ремізов. За ред. Б. Є. Патона, Д. Ф. Чернеги. – К: ІВЦ «Видавництво «Політехніка», 2004. – Ч.П: Плазмово-дугові печі. – 114 с.
2. Ремізов Г. О. Подові електроди (конструкції та розрахунки). Методичні вказівки. НТУУ «КПІ», 2010. – 17 с.