

УДК 669.041.533

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОВИХ ВТРАТ ПРИ ПЛАЗМОВО-ДУГОВІЙ ПЛАВЦІ В КЕРАМІЧНИЙ ТИГЕЛЬ

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

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут ”

Розглянуті формули, які визначають теплові втрати при плазмово-дуговій плавці в керамічний тигель.

Рассмотрены формулы, которые определяют тепловые потери при плазмово-дуговой плавке в керамический тигель.

Consider the formulas that determine the heat loss during Plasma-arc melting in a ceramic crucible

Вступ

Плавка металу в плазмово-дугових печах з керамічним тиглем має в порівнянні із звичайними дуговими сталеплавильними печами багато переваг(виключення можливості науглецювання металу, високе засвоєння легуючих елементів, покращення умов праці та інші). Проте, слід вказати на великі витрати електроенергії, води та плазмоутворюючого газу, а також на теплові втрати.

Не дивлячись на це при виплавці складно легованих сталей в плазмово-дугових печах з керамічним тиглем економія складає 4,5...6,5 \$/т в порівнянні з виплавою в звичайних дугових печах.

Постановка задачі дослідження

Метою дослідження є визначення теплових втрат та їх залежність від температури.

Результати дослідження

Тепло втрачається:

- через футерівку печі;
- випроміненням через робочі вікна і відкритим робочим простором під час механізованої заправки подини та завантаження металошихти;

- у водоохолоджуваних елементах (плазмотроні, його ущільненнях в футерівці склепіння або стін, склепінні, подовому електроді і т.д.);
- при можливій зміні ентальпії газів, що проходять через робочий простір печі.

Отже, сумарні теплові втрати становлять:

$$Q_{\Sigma \text{ пот}} = Q_{(к,с\epsilon)} + Q_{изл} + Q_{лт} + Q_{эл,лод} + Q_{\epsilon}, \text{ кВт} \quad (1)$$

Визначення теплових втрат через футерівку

Тепло, що втрачається поверхнею корпусу та склепіння печі, яка віддає тепло внаслідок теплопровідності у вигляді конвективної тепловіддачі визначається по формулі Ньютона:

$$Q_{(к,с\epsilon)} = \alpha_{\Sigma} \cdot F_{Т.О} \cdot (T_{Т.О} - T_{ср}) = q_{\Sigma} \cdot F_{Т.О}, \text{ кВт} \quad (2)$$

де α_{Σ} – сумарний коефіцієнт тепловіддачі, що враховує конвективний і променистий теплообмін поверхні з навколишнім середовищем, ($\alpha_{\Sigma} = \alpha_{к} + \alpha_{изл}$), Вт/(м²·К);

$F_{Т.О}$ – площа поверхні, що віддає тепло, м²;

$T_{Т.О}$, $T_{ср}$ – температури відповідно поверхні, що віддає тепло та навколишнього середовища, К;

$q_{\Sigma} = \alpha_{\Sigma}(T_{Т.О} - T_{ср}) = \alpha_{\Sigma} \cdot \Delta T$ – щільність теплового потоку, Вт/м².

Коефіцієнти тепловіддачі конвекцією ($\alpha_{к}$) і випроміненням ($\alpha_{вип}$) визначається із загальновідомих умов теплопередачі. [1]

Значення α_{Σ} і q_{Σ} , для $\epsilon = 0.8$ (стіна з цегли) та $\epsilon = 0.5$ (металічна стіна, пофарбована алюмінієвою фарбою) наведені в роботі. [2]

Теплові втрати теплопровідністю через футерівку розраховуються для теплопередачі при граничних умовах третього роду:

$$Q_{фут} = \frac{(T_{раб. пр-ва} - T_{ср})}{R_{\Sigma}}, \text{ кВт} \quad (3)$$

$$\text{де } R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_1 \cdot F_{фут}} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i \cdot F_i} + \frac{1}{\alpha_к \cdot F_{корп}}, \frac{\text{К}}{\text{Вт}} \quad (4)$$

Внаслідок малих значень теплового опору тепловіддачі випромінюванням із робочого простору, формула (4) може бути спрощена таким чином:

$$Q_{фут} = \frac{(T_{фут} - T_{cp}) \cdot F_{m.o.}}{\sum_{L=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\Sigma}}}, Вт \quad (5)$$

Значення коефіцієнту теплопровідності λ вогнетривких та теплоізоляційних матеріалів для футерівки обираються за відповідною температурною залежністю для середньої температури відповідного шару.

При розрахунках за формулою (5) температура $T_{фут}$ приймається як відома вихідної величини відповідно до температури робочого простору печі (наприклад, $T_{фут} = 1900$ К), а температуру поверхні, яка віддає тепло $T_{m.o}$ задають попередньо, яка для діючих печей може бути рекомендована:

Показники	Склепіння	Кожух печі	Днище
$T_{m.o}$, К	600 – 900	550 – 650	350 – 500
q_{Σ} , кВт/м ²	10 – 35	5 – 15	1 – 5

Теплові втрати через водоохолоджувані елементи корпусу та склепіння печі визначаються за зміною ентальпії теплоносія, знаючи об'ємні витрати в кожному елементі:

$$Q_{охол.ел-ти} = 2,78 \cdot 10^{-4} \sum_{c=1}^n [C \cdot \gamma \cdot V_{т.нос} (T_{вих} - T_{вх})]_i, \quad (6)$$

де $V_{т.нос}$ (м³/год), C (кДж/(кг/К)) та γ (кг/м³) – відповідно об'ємні витрати теплоносія, питома теплоємність та щільність теплоносія визначаються для середньої температури теплоносія на вході та виході системи охолодження даного i -того водоохолоджуваного елемента. [2]

Теплові втрати випромінюванням

Теплові втрати спричинені випромінюванням через робоче вікно печі складають значну долю (10 – 15 %) від загальних втрат внаслідок наявності водоохолоджуваних елементів (рами, арки, заслінки).

Теплові втрати випромінюванням через відкрите робоче вікно можна визначити з використанням формули:

$$Q_{випр} = 4,5 \left(\frac{T_{me}}{100} \right) F_{вік} \cdot \tau, кВт, \quad (7)$$

де T_{me} – температура всередині пічного простору (для інженерних розрахунків приймається рівною температурі металу; $F_{вік}$ – площа вікна; τ – час перебування вікна у відкритому стані.

Визначення теплових втрат в плазмотронах

В плазмово-дугових печах з керамічним тиглем в залежності від особливості їх конструкцій мають місце значні втрати у водоохолоджуваних елементах плазмотрона (в катодотримачі, соплі) і його ущільненнях.

Розміщення плазмотронів в цих печах, приводить до значних втрат теплової енергії з робочого простору печі у водоохолоджуваному плазмотроні, який проходить через весь робочий простір печі.

Теплові втрати в плазмотроні змінюються по ходу плавки, причому втрати у водоохолоджуваному корпусі, що знаходиться в пічній атмосфері, до кінця плавки в результаті підвищення температури робочого простору різко зростають (в 4 – 6 разів), досягнувши в період витримки металу 40 – 42% від всієї споживаної потужності, введеної в піч. Втрати в плазмотроні в значній мірі залежать від режиму горіння плазмової дуги. Так, при збільшенні дуги від 150 до 400 мм відносні втратив плазмотроні знижуються з 27 до 17% в результаті зменшення втрат в корпусі від 14 до 5% (внаслідок підйому плазмотрона із робочого простору ПДП). При коротких дугах (менше 150 мм) теплові втрати у водоохолоджуваному соплі плазмотрона зростають під впливом теплового випромінювання ванни рідкого металу. При довгих дугах (більше 400 мм) деяке збільшення втрат в соплі пояснюється підвищенням температури робочого простору печі при підйомі плазмотрона.

Експериментально встановлено [2], що в водоохолоджуваному корпусі плазмотрона діаметром 100 мм може втрачатися від 250 до 550 кВт в залежності від заглиблення плазмотрона в робочий простір.

В печах місткістю 30 т ці втрати можуть бути рівними приблизно 4,5 МВт.

Сумарні теплові втрати в плазмотронах і водоохолоджуваних вузлах кріплення їх на кришці:

$$\sum_1^n Q_{плі} = n Q_{плі} \quad (8)$$

де n – кількість плазмотронів, шт.

$Q_{плі}$ – теплові втрати в плазмотроні, які можна представити у вигляді:

$$Q_{пл_i} = Q_{c_i} + Q_{e_i} + Q_{кор_i} \quad (9)$$

де $Q_{c_i} + Q_{e_i} + Q_{кор_i}$ - теплові втрати в соплі, електроді та корпусі плазмотрона відповідно, Вт.

Теплові втрати в соплі і електроді визначаються за формулою:

$$Q_{c_i} = I_d q_c^*; \quad (10)$$

$$Q_{e_i} = Q_{N_i} = I_d q_e^*; \quad (11)$$

де q_e^* , q_c^* - ефективні термічні параметри сопла і електрода, значення яких при роботі на аргоні складають відповідно 12...15 і 6...8 Вт/А. У випадку використання в якості плазмоутворюючих газів сумішей аргону з гелієм, азотом, воднем або при горінні дуги в атмосфері цих газових сумішей $q_{c_{сн}}^*$ і $q_{e_{сн}}^*$ визначаються по формулам:

$$q_{c_{сн}}^* = r|\Gamma| + q_c^*; \quad (12)$$

$$q_{e_{сн}}^* = d|\Gamma| + q_e^*, \quad (13)$$

де r , d – коефіцієнти, які залежать від роду плазмоутворюючого газу, Вт/А. При використанні аргону – гелієвих сумішей $r = 8...9$ Вт/А, $d = 9...10$ Вт/А; сумішей аргону з азотом або повітрям – $r = 13...14$ Вт/А, $d = 18...19$ Вт/А; аргону – водневих сумішей - $r = 130...150$ Вт/А, $d = 130...140$ Вт/А.

Установка плазмотронів в бокових стінках печі великої ємкості дозволяє значно знизити теплові втрати з охолоджуваною водою (рис.1) і підвищити тепловий ККД печі.

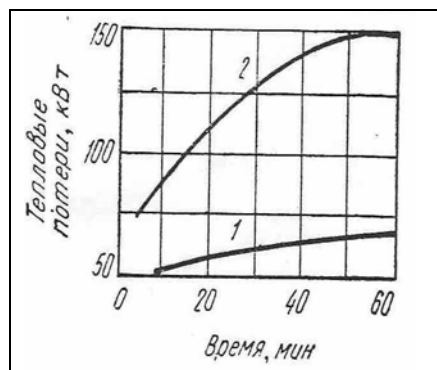


Рис.1. Зміна теплових втрат плазмотрона по ходу плавки в ПДП при розташуванні плазмотронів в стіні (1) і на склепінні (2)

При роботі ПДП на двохкомпонентному плазмоутворюючому середовищі (аргон + водень або аргон + азот) корисна потужність печі зростає також при незмінному струмі. Збільшення струму і довжини плазмової дуги підвищує середню потужність періоду розплавлення з відповідним скороченням тривалості періоду і питомої витрати електроенергії.

Теплові втрати в корпусі (або в кесоні) і водоохолоджуваних вузлах кріплення плазмотрона на кришці залежать від щільності теплового потоку, який передається від дуг, розплавленого металу і водоохолоджуваної футерівки. Теплові втрати в корпусі плазмотрона розраховують за формулою:

$$Q_{\text{кор}_i} = q_{\text{кор}} F \quad (14)$$

де $q_{\text{кор}}$ - щільність теплового потоку, Вт/м²; F – площа бокової поверхні корпусу плазмотрона (або його кесона), м². Значення $q_{\text{кор}}$ коливаються в межах $(1,4 \dots 6,3) \cdot 10^5$ Вт/м² і залежать від ступеня теплової ізоляції корпусу від плавильного простору.

Після розрахунку сумарних теплових втрат в плазмотронах необхідно перевірити, як корелюють отримані результати з літературними і експериментальними даними:

$$\sum_i Q_{\text{пл}_i} = (0,15 \dots 0,30) I_d U_d n \quad (15)$$

Якщо отримані дані знаходяться не в межах, вказаних в рівнянні (18) то розрахунок необхідно повторити, уточнивши розрахункові коефіцієнти.

Визначення теплових втрат в подовому електроді

Теплові втрати в подовому електроді складають в середньому 1 - 2 % від потужності, що підводиться. Виходячи з цього вони можуть бути визначені орієнтовно згідно технічним характеристикам печі:

$$Q_{\text{п.е}} \approx 0,015 \cdot I_d \cdot U_d, \text{кВт} \quad (16)$$

Можливо також визначити ці втрати виходячи із значення питомого теплового потоку від розплаву до подового електроду (q_p), який згідно експериментальним даним знаходиться в межах $(0,3 - 1,3) \cdot 10^6$ Вт/м², і тепловідвідної поверхні активної частини подового електроду:

$$Q_{\text{п.е}} = q \cdot F_{\text{п.е}}, \text{кВт} \quad (17)$$

Визначення теплових втрат при зміні ентальпії газів

При можливій зміні ентальпії газів, які проходять через робочий простір печі в енергетичному балансі печі доля теплових втрат з газами складає (1,0 – 1,5) %, тобто (3,5 – 5,0) % від суми всіх теплових втрат за плавку.

Визначення теплових втрат з газами

Теплові втрати з газами, що вибиваються з печі пов'язані зі зміною їх ентальпії і залежить від кількості та складу утворюваних технологічних газів і їх середньої температури по періодам плавки. Інтенсивність газовиділень змінюється по ходу плавки, складаючи для ДСП 50 – 500 м³/(т·год) при 1700 – 1800 К.

В енергетичному балансі плазово-дугових плавильних печей доля аналогічних теплових втрат складає 0,3 – 0,8 % від тепла, яке потрапляє за рахунок електроенергії в даний період плавки.

Визначення кількості тепла, яке акумулюється футерівкою

Розподілення температури по шарам футерівки до розігріву ($T_{ф.н.}$) і при робочій температурі простору печі ($T_{ф.к.}$) дозволяє визначити теплову енергію, яка акумулюється футерівкою, як суму зміни ентальпії кожного шару

$$\pm \Delta H_{ф} = \pm \sum [C \cdot \gamma \cdot V_{ф} \cdot (T_{ф.к} - T_{ф.н.})] ; \quad (18)$$

де C , γ - відповідно питома теплоємність (Дж/кг*К) і щільність (кг/м³) матеріалу футерівки;

$V_{ф}$ - об'єм матеріалу і -го шару футерівки, м³.

В цій формулі мінус відповідає охолодженню футерівки (в період підготовки печі до плавки, при завантаженні металошихти); плюс – нагріву футерівки при горінні плазових дуг.

Оцінка потужності теплових втрат

Середню потужність теплових втрат ($P_{т.п.}$) проектованої плазово-дугової печі з керамічним тиглем, що проектується, можна, по аналогії з ДСП, визначити орієнтовно за наступними енергетичними формулами:

При виплавці корозійних сталей:

- для енергетичного періоду:

$$P_{т.п.е} \approx 0,2 + 10^{-3} (28E - 0,1E^2), \text{ МВт} \quad (19)$$

- для відновлювального періоду:

$$P_{т.п.в.} \approx 0,3 + 10^{-3} (42E - 0,15E^2), \text{ МВт} \quad (21)$$

при виплавці підшипникових сталей:

- для енергетичного періоду:

$$P_{\text{т.п.е.}} \approx 0,256 + 10^{-3}(35,8E - 0,13E^2), \text{ МВт} \quad (22)$$

- для відновлювального періоду:

$$P_{\text{т.п.е.}} \approx 0,384 + 10^{-3}(53,7E - 0,19E^2), \text{ МВт} \quad (23)$$

Висновок

При плазово-дуговій плавці в керамічний тигель слід приділяти велику увагу втратам тепла. В даній роботі було запропоновано ряд формул, що дозволяють визначити теплові втрати.

Література

1. Исаченко В. П., Осипова В. А., Сухомел А. С. Теплопередача. М. «Энергия», 1975. 486 с. с.ил.
2. Егоров А. В. Расчет мощности и параметров электропечей черной металлургии./ А. В. Егоров. М: Металлургия, 1990. – 280 с.