

ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ПРОСТОРУ ДУГОВОЇ ВАКУУМНОЇ ПЕЧІ

А. І. Холодченко

Національний технічний університет України

„Київський політехнічний інститут”

Висвітлено застосування вакуумно дугового процесу та вакуумно дугової плавки. Розглянуті основні типи вакуумно дугових печей, а також загальний аналіз існуючих проблем та аналітичний огляд існуючих джерел інформації. Представлені основні вимоги та задачі, що ставляться до проектування та розрахунків.

Представлено применение вакуумно-дугового процесса и вакуумно-дуговой плавки. Рассмотрены основные типы вакуумно-дуговых печей, а также общий анализ существующих проблем и аналитический обзор существующих источников информации. Представлены основные требования и задачи, которые ставятся к проектированию и расчётам.

Application of vacuum arc process and vacuum arc melting was considered. The basic types of vacuum arc furnaces and, also the general analysis of existing problems and the state-of-the-art review of established sources of the information are analyzed. The basic requirements and problems concerning designing and calculations of furnace parameters are presented.

Вакуумно-дугова плавка отримала широке розповсюдження для плавки сталі, сплавів на залізній та нікелевій основі, а також високо реакційних і тугоплавких металів, таких як титан, цирконій, ніобій, молібден, тантал, вольфрам.

Застосування вакуумно-дугової плавки для сталей, а також сплавів на базі заліза та нікелю обумовлено необхідністю зниження сегрегації у великих зливках і отримання металу очищеного від неметалічних включень.

Розрізняють два основних типи вакуумно-дугових печей (ВДП):

- печі з невитратним електродом;
- печі з витратним електродом.

Печі з невитратним електродом отримали найбільш широке розповсюдження в якості так званих гарнісажних печей, чи печей з

автотиглем. Їх застосовують для отримання виливків із високореакційних і тугоплавких металів, тобто це ливарні печі. Для отримання зливків ці печі майже не застосовують з причини забруднення переплавляемого металу матеріалом невитратного електрода (графітом чи вольфрамом).

Найбільш широке розповсюдження для виробництва зливків отримали печі з витратним електродом і саме вони сьогодні головним чином складають парк ВДП. Ці печі також успішно використовують для отримання фасонних виливків.

Загальний аналіз існуючих проблем та аналітичний огляд існуючих джерел інформації дозволяє визначити, що на сьогодні також в значній мірі ускладнені розрахунки (фізичні, теплові, електричні) які часто носять емпіричний характер. Відсутня єдина методика повного розрахунку.

При розв'язанні задачі проблема постає у виборі раціональних геометричних розмірів зливків та електрода, визначенні електричного режиму плавки, виборі джерела енергії, розрахунку вакуумної системи та виборі її обладнання.

Розрахунок потрібно починати з визначення економічно доцільної маси зливка та його розмірів. Далі задача зводиться до попередньої. Однак основна задача постає у виборі раціональної довжини зливка, тобто його маси.

Приставаючи до розрахунків ВДП, необхідно добре уявляти собі дві основні вимоги що ставляться до них:

1. Піч повинна забезпечити виплавку високоякісного металу. Виконання цієї умови досягається відповідним вибором електричного режиму плавки і підбором необхідного вакуумного обладнання.

2. Піч повинна забезпечити оптимальні економічні показники (продуктивність, вихід придатного металу, собівартість продукції).

Виконання цієї умови досягається відповідним обранням маси виливка та його геометричних розмірів. При цьому завжди необхідно пам'ятати, що оптимальність економічних показників значно залежить від умов поставленої задачі.

Аналіз показує, що конкретне оптимальне розв'язання задачі багато в чому залежить від того, яка вартість металу, що переплавляється, а також вартість електроенергії та води в районі, де буде працювати задана піч.

Ось чому ВДП слід розраховувати з урахуванням не тільки сортаменту металу, що переплавляється на заводі – замовнику печі, але і з урахуванням місцевих особливостей підприємства (ціна на електроенергію, воду і т.д.).

Основним розміром робочого простору печі ВДП є діаметр кристалізатора $D_{кр.з}$ який при заданій масі M переплавляемого зливка визначає рівень техніко-економічних показників.

В ВДП, головним чином, отримують циліндричні зливки, що пов'язано з простотою механічної обробки. З метою підвищення виходу придатного металу доцільно отримувати зливки квадратного і прямокутного перерізу (для виготовлення листа зливок прямокутного перерізу повинен мати співвідношення сторін 1:2, при такому ж відношенні більшої сторони до довжини зливка).

Важливим геометричним параметром ВДП є довжина зливка $L_{зл}$, яка залежить від співвідношення $L_{зл}/D_{зл}$, що, в свою чергу визначається технологією подальшого переробу зливка та впливає на габарити ВДП, умови видалення газів із рідкого металу, спосіб виготовлення витратних електродів, продуктивність і техніко-економічні показники технологічного процесу.

Для ВДП приймаються наступні співвідношення:

$$L_{зл}/D_{зл} = 2,5 \dots 3,0 \text{ – при ковці та пресуванні;}$$

$$L_{зл}/D_{зл} = 4,0 \dots 5,0 \text{ – при прокатуванні.}$$

Розрахунок ДВП проводять, виходячи із заданої маси зливка:

$$M_{зл} = F_{зл} \cdot L_{зл} \cdot \gamma_{ме.тв.} \quad (1)$$

де $F_{зл}$ – площа перерізу зливка, m^2 ; $\gamma_{ме.тв.}$ – питома вага (густина) металу, $кг/м^3$;

По заданій масі зливка $M_{зл}$ визначається його діаметр:

$$D_{зл} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot M_{зл.}}{\pi \cdot \gamma_{ме.тв.} \cdot \kappa_{зл}}} \approx 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{зл.}}{\gamma_{ме.тв.} \cdot \kappa_{зл}}}, m \quad (2)$$

$$\text{де } \kappa_{зл} = L_{зл}/D_{зл}.$$

Із збільшенням маси зливка $M_{зл.}$ спостерігається тенденція до зменшення $\kappa_{зл.}$. Геометричні розміри поперечного перерізу зливка визначають діаметр кристалізатора з урахуванням лінійної усадки металу ($\alpha_{л.}$) при зміні температури:

$$D_{кр.} = \kappa_{л.} \cdot D_{зл} = D_{зл.} \cdot (1 + \alpha_{л.} \cdot \Delta T) \approx D_{зл.} \cdot (1,015 \dots 1,025), m \quad (3)$$

де $\kappa_{л.}$ – коефіцієнт лінійної усадки металу.

Отриманий діаметр кристалізатора $D_{кр.}$ округляється до стандартного значення ряду геометричної прогресії зі знаменником $\sqrt[20]{10} \approx 1,12$ (ГОСТ 8032-56) – ряд R20, який положено в основу розмірного ряду кристалізаторів (в $дм$): 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 5,0; 16; 18.

Висота кокілю “глухого” кристалізатора виливниці $L_{кр.(г.)}$ повинна перевищувати на 150-200 $мм$ сумарну довжину зливка і темплету, щоб виключити утворення настилів на верхньому фланці кристалізатора, що перешкоджають видаленню зливка.

Темплет зазвичай укладають на піддон перед початком плавки і його товщина складає 20 – 60 мм. Довжину „глухого” кристалізатору розраховують за формулою:

$$L_{кр.(г.)} = L_{зл.} + (0,15 \dots 0,20), \text{ м} \quad (4)$$

Для кристалізатора при плавці з витягуванням зливка:

$$L_{кр.(в.)} = (2,0 \dots 2,5) \cdot D_{зл.}, \text{ м} \quad (5)$$

Довжина зливка визначається з виразу:

$$L_{зл.} = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{(1,015 \dots 1,025) \cdot M_{зл.}}{D_{кр.}^2 \cdot \gamma_{ме.те.}} = \frac{(1,293 \dots 1,306) \cdot M_{зл.}}{D_{кр.}^2 \cdot \gamma_{ме.те.}}, \text{ м} \quad (6)$$

Діаметр витратного електрода вибирають із технологічних і конструктивних міркувань. Маса витратного електрода визначається масою “чорнового” зливка, враховуючи 0,5 % втрат маси металу на розбризування, випаровування та залишок („недогарок”) електроду після плавки, а розміри його поперечного перерізу – допустимим радіальним проміжком між електродом і кристалізатором (Δ) для уникнення небезпеки перекидання дуги на стінку кристалізатора і можливого її загорання.

Відстань між переплавляємим торцем витратного електрода і поверхнею ванни рідкого металу, яка визначає довжину дуги l_d , підтримують в межах 15...20 мм, при чому для сталей – ближче до верхньої межі, для сплавів на основі нікелю - ближче до нижньої межі. Ширину радіального зазору не слід приймати менше 20...40 мм. Для більш крупних кристалізаторів розмір зазору (Δ) збільшують до 40...120 мм.

Виходячи з цього діаметр електрода дорівнює:

$$d_{ел.} = D_{кр.} - 2\Delta, \text{ м} \quad (7)$$

а довжина його сплавляємої частини:

$$L_{ел.} = L_{зл.} \cdot \left(\frac{D_{зл.}}{d_{ел.}} \right)^2 = \frac{L_{зл.}}{k_{з.зл.}^2}, \text{ м} \quad (8)$$

де $k_{з.зл.}^2$ – коефіцієнт заповнення зливка, який дорівнює співвідношенню $d_{ел.}/D_{зл.}$.

Практикою доведено, що найкраще очищення металу спостерігається при відношенні:

$$d_{ел.}/D_{кр.} = 0,70 \dots 0,75; \quad (9)$$

При меншому значенні – ванна нерівномірно прогрівається дугою; при більшому – величина зазору (Δ) стає дуже малою та перешкоджає

вилученню газів із зони плавки.

Лінійний коефіцієнт заповнення кристалізатора дорівнює:

$$\kappa_{з.кр.} = \frac{d_{ел.}}{D_{кр.}} = \frac{9D_{кр.}}{1+10D_{кр.}}, \quad (10)$$

де $D_{кр.}$ – діаметр кристалізатора, м.

Довжина недогарка витратного електроду (l_n) після плавки повинна бути мінімальною, щоб знизити кількість відходів, але достатньою для попередження надмірного нагрівання електродотримача. Зазвичай довжина недогарка приймається рівною $l_n \approx 100 \dots 400$ мм, що відповідає кореляційному рівнянню:

$$l_n \approx 0,2D_{кр.} + 0,05 = \frac{1+4D_{кр.}}{20} \text{ м} \quad (11)$$

де l_n і $D_{кр.}$ виражені в метрах.

Висота робочої (вакуумної) камери визначається різницею між довжиною витратного електроду, з урахуванням розмірів затискача електродотримача, та висотою кристалізатора.

Діаметр камери зазвичай більший за діаметр зливка найбільшого розміру для ВДП даного розміру і повинен відповідати діаметру вакуум-проводу, що приєднується до камери та діаметру вихідного патрубку високовакуумного насосу. Вакуум-провід має шторний затвір і характеризується діаметром умовного проходу D_y .

Хід струмоведучого штока ($L_{шт.}$) дорівнює різниці довжин витратного електроду та наплавляемого зливка:

$$L_{шт.} = L_{ел.} - L_{зл.} = L_{ел.} (1 - \kappa_{з.зл.}^2), \quad (12)$$

Таким чином, сучасна вакуумно-дугова технологія є перспективним технологічним процесом, який постійно розвивається та вдосконалюється. Представлена методика дозволяє з достатньою ймовірністю розрахувати геометричні параметри робочого простору дугової вакуумної печі.

Література

1. Смелянский М. Я., Гуттерман К. Д. Рабочий процесс и расчет вакуумно-дуговых печей.-М.: Энергия, 1962. – 112 с.
2. Белянчиков Л. Н. Основы расчёта дуговых вакуумных печей. М.: Металлургия, 1968. – 100 с.
3. Егоров А. В. Расчёт мощности и параметров электрических печей металлургии. – М.: Металлургия, 1990. – 280 с.