

екты имеют физическую поверхность раздела с расплавом, что определяет гетерогенный механизм кристаллизации. Поэтому использование наночастиц с целью управления кристаллизационными процессами, протекающими в литейной форме, а также положительное влияние на содержание газов и неметаллических включений (НВ) изменяет свойства сплава, количество и морфологию НВ, создает благоприятную структуру. При модифицировании силумина АК12 ультрадисперсным модификатором TiCN отливки короткозамкнутой обмотки ротора характеризуются низкой пористостью, однородной структурой, повышенными прочностью и пластичностью.

Также отливки возможно подвергать термообработке по режиму T2 без риска образования раковин и трещин.

Лютий Р.В., Прилуцький М.І., Кривик О.В.

(КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ)

**ПЕРІОД ТЕПЛОВОЇ ІНЕРЦІЙНОСТІ – ОСНОВА ДЛЯ
РОЗРАХУНКУ ТЕПЛОВИХ ПОЛІВ ЛИВАРНИХ ФОРМ І
СТРИЖНІВ**

E-mail: rv12005@ukr.net

Часто у науково-технічній літературі зустрічаються з першого погляду цілком логічні твердження, що для заливання сталі, яке відбувається при температурі 1500...1600 °С, не можна використовувати формувальні матеріали з низькою термостійкістю. Однак на практиці тонкостінні сталеві виливки успішно виготовляють із використанням стрижнів із найменш термостійкими (наприклад поліуретановими) смолами. Їх термічна деструкція починається вже при 400 °С. При цьому виливки не мають поверхневих дефектів, тому що деструкція суміші навіть у поверхневому шарі стрижня відбувається вже після остаточного затвердіння виливка.

Більше того, ураження виливків гарячими тріщинами та утруднена вибиваємість піщано-смоляних стрижнів указують на те, що наскрізної термічної деструкції у більшості стрижнів не відбувається. Отже, при

залиття сплаву з температурою 1600 °С стрижень у центрі не завжди нагрівається навіть до 400 °С. Наведений приклад є наслідком хибних міркувань про те, що температура стрижня завжди близька до температури кристалізації сплаву. На цих же принципах побудовано програми комп'ютерного моделювання ливарних процесів.

З іншого боку, якщо термічна деструкція зв'язувального компонента відбувається до затвердіння поверхневого шару виливка, з'являються такі дефекти як пригар, газові раковини та пористість, в окремих випадках – порушення конфігурації.

Для того, щоб відбулися фізико-хімічні, дифузійні, термічні процеси між розплавом і поверхнею стрижня, які призводять до вказаних дефектів, достатньо мінімального часу – в межах однієї секунди. Сучасні методи розрахунків дають значні похибки і по часу (десятки секунд) і по температурі (сотні градусів). Тому встановити реальний стан речей можна тільки розробивши новий комплексний метод розрахунку.

Теплове поле стрижня, як правило, визначають методом кінцевих елементів [1]. Стрижень умовно поділяють на декілька розрахункових шарів, вибирають інтервал часу та визначають сітку температур. Для цього потрібно досить небагато: у кожній момент сітки часу температура на одному боці (поверхня стрижня) і на другому (центр стрижня).

Температура поверхні залежить від температури поверхні виливка, яка також є змінною. Але цим, як правило зневажають. Вибирають один із наступних варіантів:

- 1) температура поверхні стрижня в початковий момент дорівнює температурі залиття;
- 2) температура поверхні стрижня в початковий момент дорівнює середньому значенню між температурами ліквідусу (T_l) і солідусу (T_c);
- 3) температура поверхні стрижня в початковий момент дорівнює температурі солідусу.

Як правило, протягом усього періоду твердіння виливка вважають температуру на поверхні стрижня постійною. У крайньому випадку передбачають її лінійну зміну від температури заливання до солідусу.

Очевидно, що температура контактної поверхні стрижня не може миттєво досягти температури поверхні виливка. Для цього процесу потрібен певний час, який ми назвали **періодом теплової інерційності**.

Для його встановлення використано критеріальне рівняння Фур'є [2, 3]:

$$\frac{T_B - T}{T_B - T_{СТР}} = f\left(Fo; \frac{X}{X_2}\right), \quad (1)$$

де T_B – температура поверхні виливка;

$T_{СТР}$ – температура стрижня на відстані X_2 від поверхні виливка;

X – відстань розрахункової точки від поверхні виливка;

T – температура у розрахунковій точці.

Також відомо, що критерій Фур'є визначається за формулою:

$$Fo = \frac{a_{СТР} \cdot \tau}{X_2^2}, \quad (2)$$

де $a_{СТР}$ – коефіцієнт теплопровідності стрижня, м²/с;

τ – час, с.

Критерій Фур'є приймає значення 1,000, коли ліва частина рівняння (1) мінімальна, а це відбувається при максимальному наближенні температури T у розрахунковій точці стрижня до температури T_B виливка або їх зрівнюванні.

Відстань розрахункової точки X від поверхні виливка приймаємо за практичними даними середніх розмірів часток стрижневої суміші [4]. Для контактної передачі тепла між частинками всередині стрижня необхідною умовою є прогрівання одиничного поверхневого шару. Внаслідок нерівномірності упаковки зерен піску під час виготовлення стрижня, його поверхня не має ідеально рівної форми, що підтверджено спостереженнями на мікроскопі.

Тому при середньому діаметрі часток наповнювача 0,2 мм відстань $X = 0,3$ мм. Наприклад, для стрижня із кварцовим наповнювачем:

$$\tau = \frac{X_2^2}{a_{СТР}} = \frac{0,003^2}{61 \cdot 10^{-8}} = 15с.$$

Цей час названо **періодом теплової інерційності τ_i** . Основна його властивість, виходячи із цього, полягає у тому, що поверхня стрижня досягне такої ж самої температури, як поверхня виливка, через τ_i від початку їх контакту. Після цього температура поверхонь стрижня і виливка буде однаковою або максимально близькою.

Важливо і те, що даний час не залежить ні від початкової температури розплаву та стрижня, ні від швидкості охолодження виливка. Він залежить виключно від теплових властивостей матеріалу стрижня. Принцип теплової інерційності може бути запроваджено як для процесу швидкого нагрівання, так і швидкого охолодження поверхонь двох тіл, які перебувають у щільному контакті.

Очевидно, що протягом періоду теплової інерційності нагрівання поверхні стрижня не є лінійним. Миттєві значення температури протягом цього періоду можна визначити за формулою Шварца [5]. Зміну температури у центрі стрижня також можна визначити за цією формулою. Визначивши температури на поверхні та у центрі стрижня, методом кінцевих різниць розраховується його теплове поле.

Література:

1. Кривандин В.А., Молчанов Н.Г., Соломенцев С.Л. *Металлургические печи.* – Москва: *Металлургиздат*, 1962. – 600 с.
2. Медведев Я.И., Валисовский И.В. *Технологические испытания формовочных материалов.* – Москва: *Машиностроение*, 1973. – 310 с.

3. Кочешков А.С., Лютий Р.В. Расчет температурных полей в литейных формах для точного литья // *Металл и литье Украины*. – 2005, № 6. – С.42...43.

4. Борсук П.А. Особенности структуры формовочных смесей // *Литейное производство*, 2015. – №1. – С.28...30.

5. Могилатенко В.Г., Пономаренко О.І., Дробязко В.М., Кочешков А.С., Ямшинський М.М.. Теоретичні основи ливарного виробництва. –Харків.: НТУ «ХП», 2011. – 288 с.

Лютий Р.В., Тишковець М.В., Люта Д.В.

(КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ)

**НАУКОВІ ОСНОВИ УТВОРЕННЯ ЗВ'ЯЗУВАЛЬНИХ
КОМПОНЕНТІВ ІЗ ОРТОФОСФОРНОЇ КИСЛОТИ І
НЕОРГАНІЧНИХ СОЛЕЙ МЕТАЛІВ**

E-mail: rv12005@ukr.net

Важливою для ливарного виробництва особливістю фосфатів є зв'язувальна здатність, яка проявляється у поєднанні з різними матеріалами [1-4]. Ця особливість пояснюється кристалічною будовою, що у свою чергу зумовлено положенням фосфору у періодичній системі елементів: як елемент 4-ої групи він має в тетраедрі PO_4 d – p зв'язок за наявності максимальної кількості d-орбіталей [5].

Зв'язувальні властивості мають практично усі фосфати, але значною мірою відрізняються за цим показником.

Найбільш поширеною технологією синтезу фосфатних зв'язувальних компонентів (ЗК) є приготування широкого спектру розчинів на основі ортофосфорної кислоти [1, 6, 7]. Схеми синтезу в роботах середини-кінця ХХ ст. і сучасних (2015-2021 рр.) принципово не відрізняються. Вони полягають у додаванні до нагрітого розчину H_3PO_4 наступних матеріалів: гідроксиду алюмінію, оксидів хрому, бору, магнію, цинку, кальцію та деяких інших [8, 9].