

феноло-формальдегідних смол, модифікованих фуриловим спиртом. Під час приготування суміші, виготовлення стрижнів або форм та особливо під час заливання виділяється значна кількість токсичних і небезпечних продуктів. У деяких країнах світу виробництво фурилового спирту призупинено або заборонено взагалі. Це призводить до подорожчання смоляних зв'язувальних компонентів для ливарного виробництва.

Виникає потреба у пошуку нових екологічно чистих і економічно виправданих зв'язувальних матеріалів. У результаті наших досліджень розроблено нові неорганічні зв'язувальні компоненти із матеріалів українського виробництва, синтезовані за оригінальною технологією для заміни дефіцитних і дорогих аналогів. Вони можуть виготовлятися на хімічних заводах, а можуть безпосередньо у ливарних цехах.

Неорганічні зв'язувальні компоненти для стрижневих сумішей являють собою сухі порошки білого або світло-сірого кольору з розмірами частинок менше 0,2 мм, нетоксичні, малорозчинні у воді. Призначені для виготовлення ливарних стрижнів, які зміцнюються при нагріванні до 150 °С.

Основою зв'язувальних матеріалів є фосфорні солі металів. Суміші на їхній основі мають майже необмежену живучість, дають змогу виготовляти виливки із чавуну та різних марок сталі із чистою поверхнею.

Прогнозований результат – зниження вартості виготовлення виливків при забезпеченні їх високої якості плюс підвищення санітарно-гігієнічних умов праці.

**Лютий Р.В., Прилуцький М.І.**  
*(КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ)*

## **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ КОНТАКТНОГО ТЕПЛОБМІНУ В ЛИВАРНІЙ ФОРМІ**

E-mail: rvl2005@ukr.net

Розрахунки параметрів теплової взаємодії виливків із ливарними формами (стрижнями) сьогодні знов набули актуальності. В середині та наприкінці ХХ сторіччя основні теплові задачі здавалися вирішеними, оскільки було вичерпано можливості аналітичних методів розрахунків. Із розвитком комп'ютерної техніки та математичного моделювання процесів з'явився ряд програм, які широко використовуються у навчальних, дослідницьких закладах та на діючих заводах. В основу програм покладено існуючі варіанти розв'язання теплових задач без їх уточнення на базі сучасних можливостей. Вони містять багато припущень, які віддаляють результати від істини, а в окремих випадках призводять до формулювання хибних висновків. Тому ми вважаємо своїм обов'язком провести ревізію існуючих методів теплових розрахунків у ливарному виробництві та усунути, наскільки можливо, їх недоліки.

Почнемо з того, що способів точного опису процесів теплової взаємодії ливарної форми з виливком не існує. Проблема полягає в тому, що для будь-якого розрахунку необхідно задати початкову (базову) величину або функцію. Наприклад, якщо точно знати закон зміни температури поверхні форми, можна розрахувати її температуру на будь-якій глибині. Але способів точного визначення температури поверхні немає.

Аналітично можна задати, що  $T_{\text{пов}} = T_{\text{Ме}}$ , де  $T_{\text{пов}}$  – температура поверхні форми, а  $T_{\text{Ме}}$  – температура поверхні виливка. І це помилково, тому що в початковий момент температура форми в усіх точках дорівнює температурі навколишнього середовища, а з температурою виливка вона поступово зрівнюється за певний невизначений період часу.

Так само, задавши  $T_{\text{пов}} = \text{const}$ , робимо ще одну помилку, тому що в реальності ця величина змінна.

Нами було запропоновано визначати тривалість вирівнювання температур поверхонь виливка і форми у початковий період їхнього контакту за допомогою критеріального рівняння Фур'є:

$$\frac{\vartheta}{\vartheta_0} = f(Fo; \frac{x}{\delta}) \quad (1)$$

де  $\vartheta_0 = T_{Me} - T_{пов}$  (різниця між початковими температурами поверхонь виливка і форми), К;

$\vartheta = T_{Me}(\tau) - T_{пов}(\tau)$  (різниця між температурами поверхні виливка і форми в момент часу  $\tau$ ), К;

$x$  – товщина розрахункового шару форми, мм;

$\delta$  – загальна товщина форми, мм;

$Fo$  – критерій Фур'є.

У тонких формах (наприклад, керамічних для лиття за моделями, що витоплюються) цей спосіб дає змогу визначити тривалість нагрівання форми на гранично малій відстані (десяті долі міліметра) від поверхні виливка. Чим товща форма, тим менша точність такого розрахунку. Крім цього, відповіддю розрахунку є час, за який температури зрівнюються, а не сама залежність температури від часу. Тобто функцію  $T_{пов} = f(\tau)$  так і не визначено.

Фізичний експеримент у даному випадку також неможливий: по суті потрібно визначити температуру в формі на відстані 0 мм від виливка. Якщо розташувати там термопару, вона буде визначати температуру розплаву; якщо ж розташувати її на певній глибині – це буде вже не поверхнева температура форми. Тому потрібно продовжувати пошуки аналітичного рішення.

Наприклад, метод Стефана – Шварца дає аналітичні вирішення для значень температури на будь-який момент часу на будь-якій відстані від поверхні (як усередині форми, так і в виливку). Але він має наступні недоліки:

- необхідним для розрахунку є значення коефіцієнта твердіння ( $k$ ) – дуже приблизної, майже емпіричної величини. Теоретичні і практичні значення цього коефіцієнта іноді відрізняються у 10 разів;

- за основу при визначенні  $T_{Me}$  і  $T_{пов}$  береться певна температура контакту ( $T_K$ ), яку визначають один раз і надалі вважають незмінною;

- метод не враховує виділення теплоти під час твердіння виливка, особливо в процесі евтектичного перетворення, і тому за розрахунком зменшення температури відбувається монотонно увесь час;

- за розрахунком між температурами поверхонь виливка і форми завжди існуватиме різниця, а насправді під час щільного контакту вони мають зрівнятись;

- розрахунок можна вести тільки до моменту завершення твердіння виливка. Оскільки зниження температури  $T_{Me}$  нижче солідусу в цьому методі не передбачено, форма буде вічно нагріватись, якщо продовжити розрахунок у період охолодження затверділого виливка.

Метод кінцевих різниць може досить точно показати розподіл температур у будь-якому матеріалі, але за умови точно відомого закону зміни температури на поверхні.

Вирішуючи теплові задачі у системі «виливок – форма», більшість дослідників вважають температуру у виливку рівною в усіх його точках. У піщаних формах це близько до істини. Але у тонкостінних (оболонкових або керамічних) чи металевих формах у виливку є перепад температур.

Розглядаючи систему «виливок – форма» з математичного боку, слід взяти за основу один із цих об'єктів. Тоді другий буде залежним від нього. Ми вважаємо у цій системі первинним процесом охолодження виливка і тепловіддачу від нього. В такому разі необхідно знайти закон охолодження виливка в цілому, після цього перейти до його поверхні, а за нею встановити зміну температури поверхні форми. Для реалізації даного загального алгоритму нами складено ряд окремих аналітичних задач.

1. Задача про твердіння і охолодження виливка. Це єдина задача, рішення якої вже існує. Знаючи матеріал виливка та форми, можна розрахувати за відомими формулами

Баландіна Г.Ф. тривалість твердіння і охолодження виливка до певної заданої температури. Також існує можливість визначити тривалість відведення теплоти перегрівання (час, який проходить з моменту заливання металу в форму до початку його кристалізації).

2. Задача про зміну температури поверхні виливка. Найпростіший шлях – прийняти температуру у всіх точках виливка однаковою. В такому разі в момент завершення твердіння, наприклад, вона буде дорівнювати температурі солідусу. Але насправді на поверхні виливка температура буде нижчою, ніж у його термічному центрі, і цей перепад по можливості має бути визначено.

3. Задача про зміну температури поверхні форми. Для встановлення аналітичного рівняння  $T_{\text{пов}} = f(\tau)$  потрібно як мінімум знати значення цієї температури в декілька моментів часу. Для цього можна скористатися методом Стефана – Шварца, задавши у розрахунку точку на мінімальній відстані (наприклад 0,1 мм) від поверхні.

4. Задача про вирівнювання температур поверхонь виливка і форми. Для вирішення можна скористатися критеріальним рівнянням Фур'є (1). Крім цього, можна узяти за основу результати попередніх двох задач. Якщо будуть відомі функції зміни температури поверхонь виливка і форми, то прирівнявши їх, знайдемо час, а також значення температури на цей момент. Після цього вилівок продовжує охолодження, а поверхня форми перестає нагріватись і починає охолоджуватись разом із вилівком.

5. Розрахунок теплових полів у формі. Їх визначення проведемо за методом кінцевих різниць. Знаючи закон зміни температури поверхні форми, це стане можливим.

Отже, теплові розрахунки у системі «вилівок – форма» в процесі затвердіння і охолодження металу є складними і багатограними. Але розділення загальної задачі на декілька більш простих дає змогу знайти ряд аналітичних вирішень, які значною мірою уточнюють існуючу інформацію.

**Лютий Р.В., Скирденко М.В.**

*(КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ)*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ДІЇ РІДКИХ ЗАТВЕРДЖУВАЧІВ НА СУМІШІ З ФОСФАТНИМИ ЗВ'ЯЗУВАЛЬНИМИ КОМПОНЕНТАМИ**

E-mail: rvl2005@ukr.net

Стрижневі суміші, з якими проведено цю роботу, розроблені за попередні декілька років на кафедрі ЛВЧКМ та вже перевірені в лабораторних умовах. Всі вони мають високий рівень властивостей, а виливки, отримані з їх використанням, мають належну якість.

Загальним недоліком сумішей, за переконанням ливарних підприємств, являється режим їх зміцнення. Всі вони не є самотвердними: зміцнення відбувається при нагріванні в межах від 150 °С до 300 °С. Також технологічно нераціональною є тривалість теплового оброблення – від 30 хв для малих стрижнів до 2 і більше годин, якщо стрижень важить 3...5 кг.

Отже, завданням проведеної роботи був пошук варіантів холодного зміцнення. Характеристику сумішей представлено у вигляді табл.1. Наповнювач у всіх – Дніпровський пісок на основі кварцу 3K<sub>5</sub>O<sub>3</sub>025.

Ці суміші відрізняються від раніше відомих тим, що не містять затверджувача як такого, а їх зміцнення відбувається не самочинно, а при тепловому обробленні внаслідок взаємодії H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> з конкретною добавкою (SiO<sub>2</sub>; Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>; KCl та іншими).

Наведені у табл. 1 стрижневі суміші можна розділити на дві загальні групи:

1) Суміші, які містять H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> у вільному стані: №1; №4; №6; №7; №8; №9. Хоча окрім кислоти до складу сумішей входять інші компоненти, вони при нормальних умовах із нею не взаємодіють. Дію хімічних затверджувачів на такі системи раніше не досліджено.