

3. Дорошенко В. С., Шалевська І. А., Янченко О. Б. Відновлення та модернізація транспортної інфраструктури України: роль інноваційних ливарних технологій // Вісник машинобудування та транспорту. – 2025. – Том. 21, № 1. – С. 50–60. <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2025-21-1-50-60>.

4. Дорошенко В. С. Армированные конструкции для защиты от радиации, перевозки и захоронения радиоактивных отходов // Співробітництво для вирішення проблеми відходів: Матер. VI Міжнар. конф. (8–9.04.2009, Харків). Х.: ЕкоІнформ. – 2009. – С. 51 – 52.

5. Дорошенко В. С., Калюжний П. Б. Вентильовані, наповнені пінопластом друковані моделі // XVI Міжнар. наук. - техн. конф. Нові матеріали і технології в машинобудуванні - 2024: мат. наук. - техн. конф. 25-26 квітня 2024 р., Київ / заг. ред. Р. В. Лютий. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2024. – С. 132–137.

Дорошенко В.С., Федюк Ю.А. Боровик М.В.

(ФТІМС НАН України, Київ)

**ОПТИМІЗАЦІЯ ГАЗОВІДВОДУ ПРИ ЛИТТІ КАРКАСНО-АРМОВАНИХ
МЕТАЛОВИРОБІВ ЗА МОДЕЛЯМИ, ЩО ГАЗИФІКУЮТЬСЯ**

E-mail: doro55v@gmail.com

Сучасна промисловість та транспорт потребують впровадження енергоефективних та екологічно орієнтованих технологій, що дозволяють створювати металовироби з покращеними експлуатаційними характеристиками. Для стратегічних галузей України, таких як транспортне машинобудування, критично важливим є зниження металомісткості литих деталей без втрати їхньої міцності та надійності. Одним із найбільш перспективних інструментів для вирішення цього завдання є метод лиття за моделями, що газифікуються (ЛГМ), який цього року відзначає своє 70-річчя з часу подачі заявки на патент Г. Шроєра в 1956 році (Cavityless casting mold and method of making the same), який було отримано у 1958 році (US 2,838,343) [1].

Дослідження, що проводяться у ФТІМС НАН України, свідчать про високу ефективність застосування каркасного армування при використанні ЛГМ-процесу. Інтеграція сталевого зміцнювального каркаса (до 15 % за масою) безпосередньо в тіло вилівка зі сталі чи чавуну дозволяє зменшити загальну вагу деталі на 15-20 %. Це досягається завдяки використанню арматури з вищими міцнісними показниками, ніж у базового матричного сплаву. Армувальний каркас розміщують в тілі моделі при її виготовленні, що дозволяє точно фіксувати підсилювальні елементи в зонах високих експлуатаційних навантажень майбутнього виробу.

Пінополімерна модель стає носієм скомпонованої конструкції як скріпленого із різних армувальних деталей каркасу, так і без такого скріплення. Перевага ЛГМ полягає в тому, що вже в тілі разової моделі (поза ливарною формою) зручно розташувати навіть різнорідні металеві та (чи) неметалеві деталі (які матричний метал скріпляє воедино), проконтролювати їх позиціонування відносно один одного, а потім помістити модель у піщану форму, впевнено знаючи, що в ній вони залишаться на потрібному місці протягом усього циклу формування і заливання, навіть при транспортуванні чи вібрації цієї форми. Натомість при вставленні арматури до традиційних порожнистих форм, її треба пришпилювати, розпирати жеробійками, чи підвішувати на гачках в порожнині при збиранні форм з роз'ємних півформ. Це може пошкодити стінки форми, а металева арматура може зміститись при транспортуванні форм під заливку, що загрожує порушенням геометричної точності армування.

Загалом, разова піномодель (в т. ч. з 3D-друкованими елементами) значно спрощує і розширює можливості армування вилівок аж до розміщення в них об'ємних каркасних конструкцій складної конфігурації. Це дає новий поштовх для розвитку каркасного лиття як одного із аспектів розкриття досі недостатньо затребуваного потенціалу ЛГМ-процесу. Цьому також сприяє застосування у складі армувального каркасу перфорованих елементів, завдяки проливанню розплаву крізь отвори яких виконується «зшивання» (за аналогією з дією заклепок) у єдину лито-армовану конструкцію. Створення такого міцного з'єднання має

значні перспективи для поширення армування виливків у різних галузях промисловості.

Крім того, металевий каркас виконує роль внутрішніх холодильників, що забезпечує спрямоване затвердіння розплаву, чим запобігає появі газових та усадкових пор та раковин у армованих виливках без застосування масивних надливів, характерних для них припусків (зокрема при проектуванні за методом вписаних кіл) та нерідко застосовуваних живильників для таких надливів, сполучених з ливниковою системою. Зміцнення виливка армувальним каркасом з металу вищої міцності, ніж у матричного сплаву, та зазначена функція холодильників дозволяють суттєво знизити масу неармованого виливка без зниження його службових властивостей разом з економією завдяки зменшенню витрат рідкого металу. Для залізничного транспорту така оптимізація маси литих деталей означає пряму економію палива та зниження динамічних навантажень на колії, що підвищує загальну економічну та ресурсну ефективність перевезень.

Технологічна особливість ЛГМ-процесу отримання армованих виливків полягає в тому, що при заповненні форми розплав миттєво (протягом 1-3 секунд) нагріває арматуру, провокуючи інтенсивну газифікацію пінополістиролу по всій поверхні контакту. На відміну від класичного ЛГМ-процесу, де заміщення моделі рекомендовано виконувати послідовно (знизу вгору) [1], тут виникає ризик стрибкоподібного зростання тиску газів, що створює загрозу викиду металу з форми через ливникову систему, що є недопустимим з огляду на техніку безпеки.

Для стабілізації процесу розроблено методику керованого газовідводу через систему спеціальних вентканалів, що з'єднані безпосередньо з арматурним каркасом, та подовжені полімерними трубками серійного виробництва з поліетилену чи поліпропілену, або виготовленими в ливарному цеху у вигляді трубчастого випору з пінополістиролу.

Така оптимізація газовідводу із зони газифікації моделі дозволяє не лише нівелювати пікові стрибки тиску, а й ефективно виводити продукти газифікації моделі або за межі форми [2, 3], або у пористе середовище вакуумованого піску форми [4]. Перший варіант також передбачає спалення цих нагрітих вуглеводневих

продуктів на зовнішній поверхні форми за рахунок їх окислення до діоксиду вуглецю CO_2 та водяної пари H_2O , за аналогією з горінням метану на кухонній плиті, що забезпечує екологічний ефект за рахунок знешкодження цих газів без виділення диму у приміщення цеху. Крім того, видалення з порожнини форми мікрочастинок сажистого вуглецю разом із цими газами сприяє зменшенню ступеня науглецювання матричного сплаву при збереженні заданих хімічних та механічних властивостей металу. Таким чином, удосконалена технологія ЛГМ з армуванням і оптимальним газовідводом забезпечує отримання високоякісних полегшених металоконструкцій, що мають значний потенціал для широкого промислового впровадження в рамках концепції сталого розвитку ливарного виробництва.

Література:

1. Шуляк В. С. Литьє по газифицируемым моделям. СПб.: НПО «Профессионал», 2007. – 408 с.
2. Патент 67906 Україна, МПК В22С 9/04. Спосіб лиття за моделями, що газифікуються / О. Й. Шинський, В. Т. Шульга, Л. П. Вишнякова, І. О. Шинський, О. А. Яковишин. Опубл. 10.09.2007. Бюл. № 14.
3. Дорошенко В. С. Знешкодження газів, які виділяються при литті за моделями, що газифікуються // Метал та лиття України. – 2021. – № 2. – С. 60-67.
4. Дорошенко В. С., Калюжний П. Б., Дьяченко М. М. Лиття за газопроникними полімерними моделями, що газифікуються з відкачуванням по вентканалах газів з робочої порожнини форми // Процеси лиття. – 2024. – № 2. – С. 19-28. <https://doi.org/10.15407/plit2024.02.019>