

Дорошенко В. С.
(ФТІМС НАН України, Київ)
ОПТИМІЗАЦІЯ МЕТОДУ ЛИТТЯ З ВАКУУМУВАННЯМ ПОЛІМЕРНОЇ
МОДЕЛІ, ЩО ГАЗИФІКУЄТЬСЯ, У ПІЩАНІЙ ФОРМІ
E-mail: doro55v@gmail.com

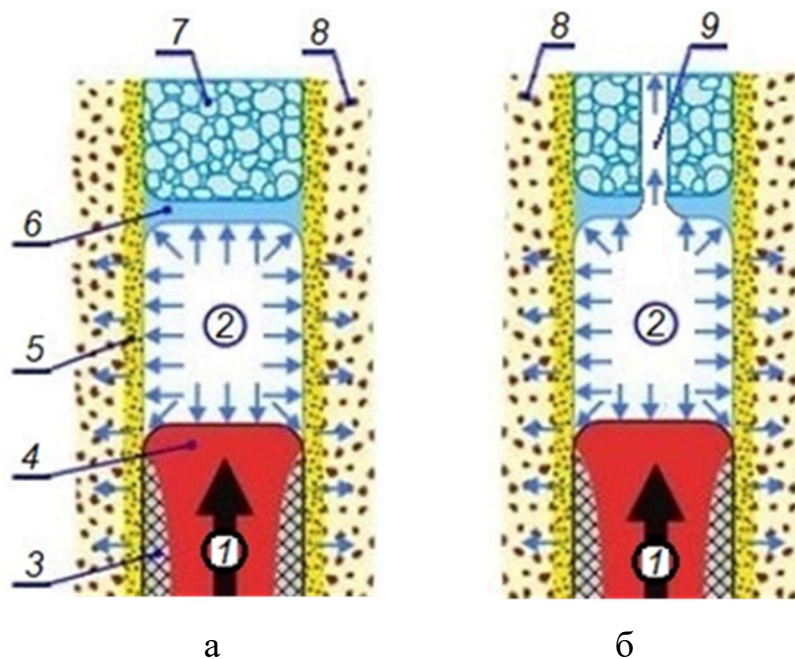
Традиційний метод лиття металу за моделями, що газифікуються (ЛГМ-процес), передбачає відведення продуктів газифікації полімерної моделі з робочої порожнини вакуумованої форми крізь пори протипригарної фарби та піску ливарної контейнерної форми. Однак, попри безперечні переваги цього методу як економного та одного з недорогих за собівартістю литва процесу, його поширення ускладнює наявність підвищеного тиску газів у порожнині форми під час заливання металу, а також присутність в цих газах сажистих компонентів (вуглецю), які можуть проникати в литий метал. Крім того, газифікація моделі є ендотермічним процесом, що потребує перегрівання металу, що заливається, порівняно з литтям у традиційні порожнисті форми. Тривалість заливки (формозаповнення) дещо подовжується, а порушення оптимального функціонування системи «метал-модель-форма» може приводити до браку литва, зокрема недоливів та спаїв.

В останніх роботах ФТІМС НАН України досліджуються методи «підключення» вакууму з піщаного середовища форми до її порожнини в процесі заміщення моделі металом [1, 2]. За виразом В. С. Серебро, зазор між розплавленим металом і моделлю, що газифікується, є рухомим джерелом газовиділення [3]. Саме це джерело запропоновано сполучити з вакуумованим піщаним середовищем форми за допомогою вентиляційних каналів (вентканалів) в моделі. Це дозволить не лише зменшити тиск газів, а й забезпечити вакуумування металу під час його заливання у форму [4].

Якщо традиційна модель з пінополістиролу (ППС) зазвичай негазопроникна, то в ній виконують вентканалі, наприклад, механічними чи термомеханічними методами шляхом попереднього закладання дрітної спіралі у стінку моделі при її виготовленні в прес-формі з подальшим видаленням цієї спіралі з моделі [5], або

пропаленням такого каналу вздовж поверхні стінки моделі знизу вгору в положенні моделі в ливарній формі [6].

Перехід від традиційних методів відведення газу при ЛГМ з протитиском (вище атмосферного тиску) цього газу на метал в порожнині форми до методу помірною вакуумного впливу (нижче атмосферного тиску) на гази над рівнем металу, що заливається в форму та газифікує-заміщає модель, і на сам метал схематично ілюструється на рис. 1 (позначення вказано в підпису до підпису).



1 – напрям заповнення форми металом; 2 – тиск газу; 3 – плівка (кірка) металу; 4 - розплав металу; 5 – протипригарна фарба; 6 – розплав ППС; 7 – ППС; 8 – сухий вакуумований пісок; 9 – газовідвідний (вентиляційний) канал

Рис. 1. Схема заповнення розплавом металу форми при газифікації моделі з ППС: а – за традиційним способом, б – з вентиляцією

Вентканал 9 (рис. 1) виводиться на верхню точку моделі та продовжується трубчастим випором. Такі трубчасті випори було надруковано на 3D-принтері Bambu Lab (рис. 2). Товщина стінки їх трубки – 0,1 мм, діаметр – 7 мм. Тонший кінець трубчастого випору вставляли в канал 9 на моделі, а в отвір з конусним розширенням до 25 мм (по діаметру) вставляли венту у вигляді кришки з щілинами чи порами, які пропускали газ, але не пропускали пісок [3]. Розширенням верхньої

частини вертикального трубчастого випору досягалося те, що сумарна площа пор піску при контакті з ним наближалась до прохідної площі отвору тонкої частини випора.

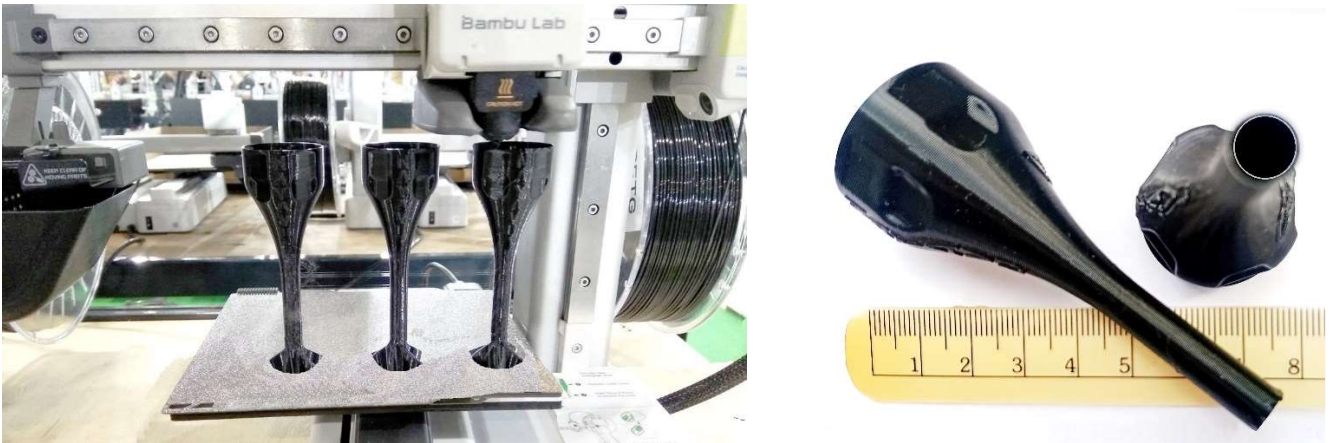


Рис. 2. 3D-друк трьох випорів на принтері з чорного філаменту PLA, а також трубчастий випор з конусним розширенням в двох видах

Для друкованих моделей з більшою газотвірністю, ніж традиційні моделі з ППС, запропоновано їх цифрове проектування на комп'ютері зразу з газовивідними каналами, що виконуються в процесі друкування [2]. В іншому варіанті такі моделі друкуються з відкритими порами, що забезпечує спрямовану (транзитну) пористість стінок моделей знизу вгору. Це дозволяє відводити газ крізь такі пори і трубчастий випор в пори піску вакуумованої форми.

Таким чином, проблему високого тиску газів в процесі газифікації моделі вирішували шляхом створення вентканалів у конструкції ливарної моделі, які проектуються на її цифровому кресленні. Вони пролягають у напрямку заміщення моделі розплавом металу та продовжуються полімерними трубками (випорами) у верхніх точках моделі для виходу газів у пісок форми крізь газопроникні вент на вихідних кінцях цих трубок.

На відміну від традиційних методів створення вентканалів механічним способом чи пропалюванням, автоматизація виготовлення таких каналів у ході 3D-друку значно знижує трудомісткість процесу, незалежно від складності конфігурації ливарних моделей. При цьому вентиканали можуть мати численні

згини вздовж тонких стінок моделей, що практично неможливо здійснити іншими методами. Отже, застосування вентканалів, віддрукованих в тілі моделі, суттєво змінює підхід до відведення газів у ЛГМ-процесі.

Виконання вентканалів не звільняє від потреби проєктувати та друкувати пористі моделі з мінімальною густиною. Також компромісним рішенням в цьому напрямі стало комбінування модельних конструкцій, що поєднують друковані елементи зі вставками з традиційного ППС. Як варіант, у місцях стикування цих елементів при друкуванні забезпечуються повздовжні борозенки, які при контакті із вставками створюють вентиканали. Це дозволяє зменшити витрати на виготовлення моделей, забезпечуючи стабільні умови відведення газів.

Теоретичні розрахунки вакуумування стінок моделей показують, що, якщо на виході з типового для ЛГМ водо-кільцевого вакуумного насосу (ВВН) досягається вакуум – 0,8 атм (по вакууметру, що відповідає залишковому тиску близько 20 кПа), то на поверхні ливарної моделі у вакуумованому піску форми в контейнерній опоці залишковий тиск може досягати 40-50 кПа. Для цього слід застосовувати вакуумпроводи не нижче ДУ 50. Тоді на поверхні вентипора залишковий тиск можна підтримувати на рівні 60-70 кПа для відкачування газів, що утворюються у вищевказаному зазорі, та впливу на поверхню металу для його засмоктування, який заливається крізь стояк під атмосферним тиском близько 100 кПа на рівні заливної лійки чи чаші на ливарній формі. При цьому з боку форми на межі «метал-форма» діє газовий тиск близько 40-50 кПа, а в зазорі при виході газів крізь випор тиск на 20 кПа вищий (близько 60-70 кПа). Невисокий тиск в зазорі (на противагу традиційному протитиску до 124 кПа [7]), ослаблений вакуумуванням моделі крізь випор, запобігає утворенню механічного пригару. На практиці при традиційному ЛГМ нерідко стравають вакуум форми для зменшення перепаду тиску в зазорі.

Практичні випробування показали, що рівень вакууму (розрідження) на поверхні вентипора був нижчим від його рівня на поверхні моделі завдяки герметизуючо-протипригарному її покриттю. Це створювало оптимальні умови для газифікації

моделі і не порушувало перепад тиску на піщану поверхню, запобігаючи осипанню піску форми.

Хоча практично не існує методів гравітаційного лиття в піщані форми з ефектом вакуумного всмоктування металу, вакуум у порах піску форми, який крізь трубчастий випор частково (ослабляючись потоком газу) передається до поверхні металу, виконує роль своєрідного насоса. Він видаляє гази одночасно з впливом на метал і збереженням умов статичної стабільності стінок форми при його заливанні. Це забезпечує кращі умови формозаповнення при заміщенні моделі, порівняно з традиційним методом ЛГМ. Вакуумування металу також позитивно впливає на його здатність проливання тонкостінних стінок, порівняно з литтям в порожнинні форми під атмосферним тиском. Рівень вакуумного відведення газів у товщу піщаної форми доцільно проектувати за принципом «чим більша газотвірність моделі, тим інтенсивніше слід видаляти гази з піщаної форми за умови непорушності її стінок». Цей принцип стає особливо корисним при переході від моделей із ППС до друківаних моделей з вищою газотвірністю, оскільки адитивні технології дають змогу змінювати конфігурацію виливків, включно з внутрішніми каналами для відведення газів, лише за рахунок внесення змін у цифрову модель продукції без наступного переформатування виробничого базису.

Додатковою перевагою запропонованої технології є можливість виведення разом із газами дрібних частинок сажі, що запобігає їх негативному впливу на якість виливка і особливо важливо для сплавів, що можуть реагувати з вуглеводневими продуктами термодеструкції полімерних матеріалів. Застосування регульованого вакууму в порожнині форми не лише запобігає гальмуванню течії металу та недоливам, але й може підвищити якість поверхні готових виливків разом з проливанням їх особливо тонкостінних елементів.

Описаний метод дозованого вакуумного впливу на метал корисний також для виготовлення армованих виливків по ЛГМ-процесу. Арматура, діючи як внутрішній холодильник, охолоджує метал, гальмуючи його затікання в форму. Ефект вакуумного всмоктування, навпаки, сприяє формозаповненню, що розширює спектр армування виливків при ЛГМ, включно із застосуванням у

виливках армуючих перфорованих каркасів з підвищеною (завдяки перфорації) контактною поверхнею і відповідним впливом арматури на розплав матричного металу.

Запропонований спосіб переходу від підвищеного тиску газів на метал до керованого вакууму в порожнині форми для ЛГМ з ППС-моделями та друківаними полімерними моделями відкриває нові перспективи підвищення технологічної гнучкості та цифровізації цього ливарного методу, головні переваги для якості виливків якого ґрунтуються практично на нескладних законах фізики, а ливарна форма складається лише з вогнетривкого піску і знаходиться під активним відведенням газів за рахунок вакуумування при заповненні її рідким металом.

Застосування 3D-друку для виготовлення випорів і моделей різної конфігурації дозволяє швидко оптимізувати програмними методами та змінювати дизайн вентиляційних систем і загалом металовиробів, скорочує тривалість технологічної підготовки виробництва нової продукції та не потребує складного і дорогого металевого оснащення для спікання моделей з ППС. Впровадження цієї технології в промислове виробництво сприятиме підвищенню конкурентоспроможності вітчизняних ливарних підприємств та розширенню їх технологічних можливостей.

Література

1. Серебро В.С. Основы теории газовых процессов в литейной форме. – М: Машиностроение, 1991. – 208 с.
2. Патент 157522 Україна, МПК В22 С7/02, В22С 9/04. Спосіб лиття металу за 3D-друкованими моделями, що газифікуються у вакуумованих формах з сипкого піску / П.Б. Калюжний, І.А. Шалевська, О.В. Нейма, С.О. Кротюк, В.С. Дорошенко, В.О. Шинський, С. І. Клименко. Опубл. 30.10.2024. Бюл. 44.
3. Дорошенко В.С., Калюжний П.Б. Дьяченко М.М. Лиття за газопроникними полімерними моделями, що газифікуються з відкачуванням по вентканалах газів із робочої порожнини форми // Процеси лиття. 2024. № 2. С.19-28.
<https://doi.org/10.15407/plit2024.02.019>.

4. Дорошенко В.С., Шинский В.О. Від надмірного тиску до помірного вакууму в порожнині ливарної форми з полімерною моделлю, що газифікується. Литво. Металургія. 2025 / Під заг. ред. Пономаренко О.І. – Харків, НТУ «ХПІ». С. 93-97.

5. Патент 91224 Україна, МПК В22С 9/02. Спосіб формування за разовими моделями / О.Й. Шинський, В.С. Дорошенко, О.В. Нейма. - Опубл. 25.06.2014, Бюл. № 12.

6. Патент 154450 Україна, МПК В22 С7/02, В22С 9/04. Спосіб лиття металу за моделями, що газифікуються / В.С. Дорошенко, О.Б. Янченко. Опубл. 15.11.2023, Бюл. №46.

7. Шинский О.И. Газогидродинамика и технология литья железоуглеродистых и цветных сплавов по газифицируемым моделям. К.: Автореф. дисс. д. т. н. 1997. 43 с.

Дорошенко В. С.
(ФТІМС НАН України, Київ)
ЛОКАЛЬНЕ ЛЕГУВАННЯ ЛИТИХ ДЕТАЛЕЙ ВІЗКІВ ВАНТАЖНИХ
ВАГОНІВ ПРИ ЛИТТІ ЗА МОДЕЛЯМИ, ЩО ГАЗИФІКУЮТЬСЯ
E-mail: doro55v@gmail.com

Литі деталі візка вантажного вагона є особливо відповідальними та, водночас, найбільш проблемними компонентами ходових частин. Щорічно на залізницях колії 1520 мм фіксуються десятки їх зламів, що призводить до значних збитків [1]. Тому важливим завданням є покращення тріщиностійкості та корозійної стійкості цих деталей у зонах концентрації напружень. Одним з перспективних напрямків є додаткове локальне легування низьколегованої сталі безпосередньо під час лиття, зокрема з використанням переваг лиття за моделями, що газифікуються (ЛГМ-процес).

Аналіз існуючих методів локального легування показав, що відомий метод легування металу виливків при ЛГМ, в якому легувальні елементи у вигляді порошків додаються до пінополістиролу (ППС), з якого виготовляються ливарні