

М. Й. Буровский¹
 В. С. Дорошенко¹
 М. В. Бабіч¹
 О. Б. Янченко²

ЕКЗОТЕРМІЧНИЙ ОБІГРІВ НАДЛИВІВ В ПРОЦЕСІ ЛИТТЯ ЗА ГАЗИФІКОВАНИМИ МОДЕЛЯМИ

¹Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ;

²Вінницький національний технічний університет

Розроблено три способи виготовлення екзотермічних вставок з використанням газифікованої моделі як несучої конструкції. Способи включають застосування вуглеводневих матеріалів без додаткового забруднення піщаної формувальної суміші, що багаторазово використовується в процесах лиття за газифікованими моделями. Розрахунок витрат на виробництво розроблених екзотермічних вставок за рахунок вибору оптимальної сировини, наявної на вітчизняному ринку, показав ефективність їх застосування. Запропоновано концепцію комп'ютерного моделювання геометричної форми надливу в умовах лиття за газифікованими моделями.

Ключові слова: екзотермічні вставки, надлив, ЛГМ-процес, моделювання, термокомпактовані відходи.

Вступ

Зі збільшенням виробництва та постійного оновлення продукції машинобудування підвищуються вимоги до якості заготовок литих деталей машин з урахуванням необхідності зниження витрати металу під час їх отримання. Численні дослідження та ливарна практика показали, що отримання якісних виливків з високим виходом придатного литва під час лиття як у піщані, так і у металеві форми можливо з використанням обігрівання надливів. З цією метою застосовуються екзотермічні (ЕТ) вставки у ливарні форми у вигляді оболонок, що формують порожнину надливу, так і вставки у вигляді усічених конусів, циліндрів, що закріплюються у порожнині форми до її стінки [1].

ЕТ вставки забезпечують підігрів металу у надливі, збільшуючи час її живлення кристалізуючої вилівки рідким металом, що сприяє зниженню браку виливків через усадкові дефекти, а також збільшенню придатного виходу за рахунок зниження маси надливів. Деякі вітчизняні підприємства пропонують поставку ливарним цехам ЕТ оболонок та вставок для надливів. Конусні або циліндричні вставки нагрівають верхню частину надливу, яка за масою у кілька разів менша, ніж оболонки, проте оболонки, які застосовують частіше, надійніше кріпляться у піщаній формі без небезпеки зсуву та деформації такої форми.

Результати дослідження

В останні десятиліття у ливарній практиці все ширше впроваджується технологія лиття за газифікованими моделями (ЛГМ-процес). Однак опис застосування ЕТ вставок для підігріву металу в надливах під час ЛГМ-процесу відсутній. Про актуальність економії металу у цьому процесі свідчать типові приклади пінопластових моделей, які показані на рис. 1.

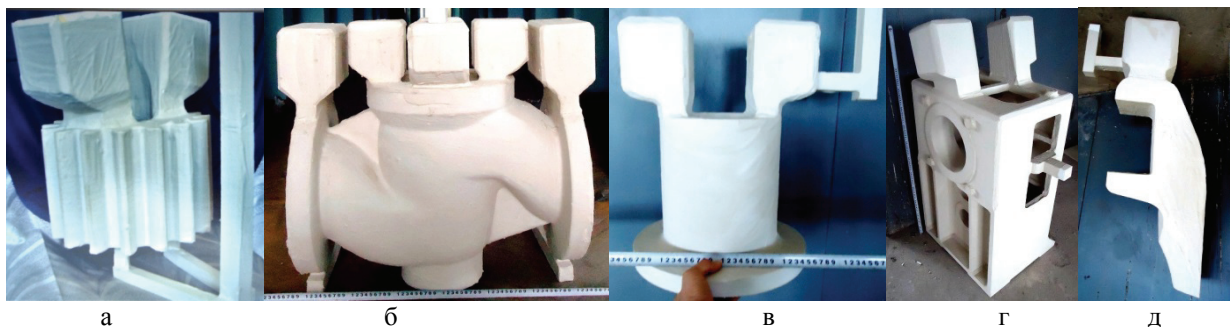


Рис. 1. Моделі сталевих виливків: а — шестерні; б — засувки; в — патрубкa; г, д — корпусних виливків

Моделі, призначені для отримання сталевих виливків масою 100...1000 кг та габаритними розмірами до 1,5 м, виготовлені в діючих вітчизняних ливарних цехах. Верхні частини моделей мають масивні надливи, які у поперечному перерізі наближаються за формою до квадрату. Перехід на кулясті надливи (описано нижче) з ЕТ вставками дозволить істотно зменшити масу таких надливів за вартості литого металу не менше половини вартості виливка.

Проведені під керівництвом проф. Шинського О. І. у ФТІМС НАН України дослідження щодо вдосконалення ЛГМ-процесу спрямовані на підвищення якості виливків та поліпшення економічних показників виробництва. Вони включають розробку та використання ЕТ вставок у вигляді конуса-патрона, які зручно поміщати перед формуванням у виготовлену для цього порожнину у верхньої частини моделі надливу. При цьому реалізується та перевага газифікованих моделей, що вони виконуються з ємністю або приймальною камерою для конусної ЕТ вставки, служать її носієм та не ускладнюють процес формування, на відміну від порожнистої піщаної форми, виготовлення якої вимагає операції установки ЕТ вставки на модель або у форму з формуванням ніші для цієї вставки.

На початковому етапі виконання робіт визначили склади реакційних сумішей для виготовлення ЕТ вставок на основі аналізу вартості відповідних сумішей на вітчизняному ринку промислових матеріалів та випробування відновником реакційної здатності вибраних матеріалів у ливарному цеху. Основним компонентом-відновником у реакційній суміші вибрали алюмінієвий порошок марки АПВ (ТУ 48-5-152-78). Як окислювач використовували залізородний концентрат виробництва Полтавського ГЗК для окатишів (ТУ 14-9-248-82) — це недефіцитний та дешевий матеріал (у порівнянні з іншими залізооксидними матеріалами), який містить до 92 % оксидів заліза, має пилувидну фракцію, що дозволяє під час його використання виключити трудомістку операцію подрібнення (помелу). У партії залізородного концентрату, взятої для проведення експериментів, Fe_2O_3 становив 58,0 %, FeO — 28,0 %, SiO_2 — 11 %, решта 5 % — оксиди Ca, Mg та Al.

Нескладні розрахунки показують, що для повного перебігу реакції Al з оксидом заліза з рудного концентрату вміст Al має становити 22,7 %. З огляду на наявність оксидної плівки на поверхні частинок алюмінієвого порошку, його вміст у реакційній суміші збільшили до 25,0 %. Таким чином, співвідношення реагентів у суміші (оксидів залізородного концентрату та алюмінієвого порошку) становить 3 : 1 за масою.

Слід зазначити, що висока реакційна здатність окислювача завдяки його дрібнодисперсності дозволяє значну частину (до 80 %) алюмінієвого порошку у складі суміші замінити дрібною стружкою — відходами механічної обробки алюмінієвих заготовок.

Виконуючи термодинамічні розрахунки екзотермічної реакції реакційної суміші вибраного складу, визначали з розрахунку, що під час реакції 1 г алюмінію (маса реакційної суміші 4 г) виділяється приблизно 3,5 ккал тепла, а під час згоряння 1 г реакційної суміші виділиться приблизно 0,9 ккал тепла.

Такої кількості тепла достатньо для нагріву рідкої стали (теплоємність 0,2 ккал/(кг·К) масою 0,18 кг на 100 °К. Для теплофізичних розрахунків, а також розрахунків ефективності застосування ЕТ вставок у порівнянні з традиційними технологіями [2, 3], під час отримання сталевих виливків за ЛГМ-процесу вибрали такі значення витрати металу: для маси відливки — 100 кг; ливникової системи — 15 кг та маси надливу — 25 кг згідно з експериментальними даними [1].

У роботі з оптимізації технології живлення надливу за рахунок застосування ЕС вставок та мінімізації форми надливу з урахуванням даних [3], виконували технічне завдання щодо зменшення витрати металу на надливну частину виливка на 10 % до 22,5 кг. У розрахунках вважали, що для забезпечення тривалості роботи такого надливу до моменту завершення кристалізації виливка досить підвищити температуру рідкого металу в ній на 100 °К, для чого необхідно витратити: $Q = 22,5 \text{ кг} \cdot 0,2 \text{ ккал}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{K}) \cdot 100 \text{ }^\circ\text{K} = 450 \text{ ккал}$ тепла. Така кількість теплової енергії виділиться під час реакції активних компонентів ЕТ суміші масою 500 гр.

Слід зазначити, що екзотермічні реакції суміші відбуваються у закритому об'ємі піщаної форми та тепла енергія, що виділяється, переважним чином трансформується у корисну (для нагрівання металу у надливній частині виливка). Однак, теплові втрати неминучі. У подальших розрахунках вони взяті на рівні 30 %, а коефіцієнт корисного використання теплової енергії складе 70 %. Отже, для нагріву металу надливу масою 22,5 кг на 100 °К масу ЕТ суміші необхідно збільшити до 714 г з кількістю Al порошку у її складі — 179 г.

На етапі проектування технології виготовлення ЕТ вставок для ЛГМ-процесу запропоновані три варіанти. У першому найпростішому варіанті таку вставку виготовляли шляхом дозування за

масою сипучої ЕТ суміші з упакованням її в пакет із синтетичної плівки, або у щільно закlesний скотчем разовий стакан з полімерного листа у вигляді капсули. Сипку ЕТ суміш у такій «м'якій» упаковці розміщували у спеціально вирізаній або відформованій порожнині моделі надливу з пінополістиролу. В процесі заливки після досягнення контакту рідкого металу з ЕТ сумішшю та її загоряння відбувається інтенсивна екзотермічна реакція зі значним виділенням газоподібних продуктів, що може вплинути на якість виливка, а також призвести до виплескування металу з форми. Щоб уникнути вибухового характеру реакції, інтенсивність горіння ЕТ суміші знижували додаванням наповнювача, що не бере участі у реакції. Як наповнювач використовували спучений перліт або подрібнені термокомпактовані відходи полістиролу в еквівалентній кількості. Легкий перліт у контакті з рідким металом витісняється на дзеркало металу надливу та служить ефективним теплоізоляційним покриттям його поверхні.

Другий варіант передбачав виготовлення спеціальних екзотермічних вставок у вигляді циліндрів або зрізаних конусів за раніше відпрацьованою технологією отримання у прес-формах газифікованих моделей з, так званими, імплантатами, які свого часу використовувались як добавки для легування або модифікування металу виливок. Оскільки полістирол є основним матеріалом моделей у ЛГМ-процесі, то під час виготовлення ЕТ вставок його застосовували як зв'язувальний матеріал [4]. Це дозволило відмовитися від інших традиційних в'язучих (глина, рідке скло [3]) для таких вставок й, таким чином, усунути зайве забруднення формувальної суміші, яка знаходиться у багаторазовому обороті, продуктами термодеструкції та шлаками без ускладнення її часткової регенерації, яка застосовується у ливарних цехах. Що стосується газів, які виділяються під час газифікації пінополістирольної моделі з такою вставкою, то вони не перевищують кількості газів, яке виділяється під час вигорання пінополістиролові моделі без використання ЕТ вставки, оскільки на виготовлення моделі надливу без вставки зазвичай витрачається більше пінополістиролу, ніж для зменшеної моделі зі вставкою. Під час відпрацювання процесу отримання ЕТ вставки ретельно перемішаний конгломерат, що складається з реакційної суміші та підспіненних гранул полістиролу, спікається у прес-формі за температури близько 130 °С. У виготовлених ЕТ вставок таким способом задовільні результати отримані за співвідношення об'ємних кількостей сипучої реакційної суміші та підспіненого полістиролу 1 : 7. Вироби не обсіпалися, мали достатні характеристики міцності для подальшого застосування у ливарній формі або транспортування.

У третьому варіанті ЕТ вставки виготовляли з використанням термокомпактованих відходів полістиролу у якості в'язучого, з попереднім їх подрібненням до фракційного складу < 0,5 мм. Після перемішування еквів'ємних (1:1) кількостей реакційної суміші та відходів полістиролу їх спікали за температури близько 160 °С, аналогічно як у роботах [4, 5]. Отримані ЕТ вставки мали високі характеристики. Об'єм їх зменшився (порівняно з попереднім варіантом виготовлення) у три рази за однакових теплотворної здатності та технології застосування.

Таке технічне рішення дозволяє повторно використовувати відходи полістиролу замість вельми недешевої їх утилізації. Тому цей спосіб виготовлення, враховуючи вторинне використання сировини та екологічну актуальність, є найкращим.

В основу оцінки економічного ефекту від використання ЕТ вставок взяті дані, наведені у роботі [2]. Згідно з цією інформацією за річної програми вилива «корпус» у кількості 2500 шт. (Маса відливка 106 кг., ціна 1 кг виливків — 20 грн/кг) у ливарному цеху досягається економічний ефект у 424 тис. грн, коли витрати на закупівлю екзотермічних вставок на суму 125000 грн (2 вставки на 1 виливок за ціною 25 грн/шт.). Для сталевих виливків масою 106 кг авторами статті виконані оцінкові розрахунки собівартості виготовлення таких ЕТ вставок для ЛГМ-процесу із запропонованого складу вставки (таблиця). При цьому використовували порошок АПВ вартістю 25,68 грн/кг, придбаний у ТОВ «Втортех» (м. Київ).

Матеріальні витрати на ЕТ вставки для сталевих виливків масою 106 кг

Перелік витрат	Обсяг витрат	Ціна за одиницю	Вартість, грн
Al порошок	0,19 кг	25,68 грн/кг	4,88
Залізорудний концентрат	0,57 кг	1 грн/кг	0,57
Пінополістирол термокомпактіров	0,1 кг	—	—
Пінополістирол суспензійний	0,1 л	1 грн/л	0,1
Час на виготовлення 1 особою	0,1 ч	30 грн/ч	3
Витрата електроенергії	1,0 квт·ч	2 грн/квт·ч	2
Всього	—	—	10,55

Як впливає з даних таблиці, собівартість виготовлення ЕТ вставки складе 10,55 грн. Якщо для виготовлення ЕТ вставок 80 % АІ порошку замінити подрібненою стружкою вартістю приблизно 6 грн/кг, то вартість ЕТ вставки складе 7,56 грн.

Таким чином, тільки за вартістю ЕТ вставок можлива економія 39,45 грн на один вилівок або 372 грн на тонну лиття.

Економічна ефективність зберігається і у випадку, коли збільшуються витрати на виготовлення ЕТ вставок у 2 рази для підвищення температури рідкої сталі у надливці приблизно на 200 °К. Економія литого металу та типові склади ЕТ вставок визначаються у процесі дослідно-промислового відпрацювання технології у конкретному ливарному цеху.

В ході оптимізації проектування технології лиття також аналізували геометричну форму надливу з погляду мінімізації витрат металу, взявши за основу кульовий надлив, і зі специфіки затвердіння металу на поверхні вакуумованої піщаної форми, традиційної для ЛГМ-процесу. Концептуальний підхід ілюструє схема на рис. 2, де умовно показані частина виливка 1 та надливу 2 у розрізі. У виливок 1 з надливу 2 рухається вниз рідка фаза в процесі живлення. Рідкий метал, починаючи з моменту контакту, утримується вакуумом на поверхні форми та кристалізується у вигляді кірки 3. Критичним для живлення є збереження дзеркала металу у рідкому вигляді, при цьому мінімальний тепловідвід обсягу металу забезпечує форма кулі, зображена колом 4 на схемі живлення надливу.

Розглянемо вертикальний ряд куль зростаючого діаметра, дві з яких показані на рис. 2. Аналізуючи тепловідвід з рухомою границею контакту рідкої (показана штрихуванням) та газоподібної фази 5, вважаємо, що мінімальний тепловідвід від металу у надлив, який має вид стопки куль, можна забезпечити геометричною формою надливу, представивши її у вигляді зрізаного конуса, що переходить донизу в кулю, що нагадує за формою цибулину.

В ході досліджень з автоматизації проектування оптимальних литих конструкцій та процесів їх отримання уточнення геометричної форми надливу в умовах ЛГМ виконано методом моделювання за допомогою комп'ютерних програм. Аналогічно методу куль, що викочуються з низу до верху [6] концепція живлення надливу, як технічне завдання для математичного моделювання представлена як метод куль, що викочуються зверху вниз.

Спільне моделювання затвердіння виливка методом двох зустрічних «потоків» викочуваних та вкочуваних куль, які у місці стику теплового вузла виливка з надливом створюють умови виведення можливих дефектів у зону надливу, що дозволяє оптимізувати форму надливу з урахуванням умов ЛГМ-процесу та застосування ЕТ вставок. Висхідний потік кіл моделює виведення усадочних дефектів, низхідний потік — живлення рідким металом. Кінцеві кола двох «потоків» поєднуються один з одним у місці контакту надливу з виливком.

Моделювання коригується за результатами експериментального виготовлення виливків, зокрема, включаючи заливку з одного стояка у ливарній формі двох симетрично розташованих однакових відливків з різними видами надливів, термометрію затвердіння металу над тепловим вузлом та величину усадочних пустот у віддаленому твердому залишку надливу без проникнення їх у тіло виливка.

Висновки

Реалізуючи перевагу газифікованих моделей, що використовуються як несуча конструкція для ЕТ вставки без ускладнення процесу формування, на відміну від порожнистої піщаної форми, в процесі технологічної підготовки використання ЕТ надливів у дослідно-промислових умовах, запропоновано три способи виготовлення ЕТ вставок.

Способи включають застосування вуглеводневих матеріалів, додатково не забруднюють піщану суміш, що використовується у ЛГМ багаторазово. Оптимальний вибір сировини з матеріалів, наявних на вітчизняному ринку, та проведений розрахунок витрат на виробництво розроблених ЕТ вставок підтвердили ефективність їх застосування.

Сформульовано технічне завдання та концепція моделювання геометричної форми надливу в умовах ЛГМ за допомогою комп'ютерних програм.

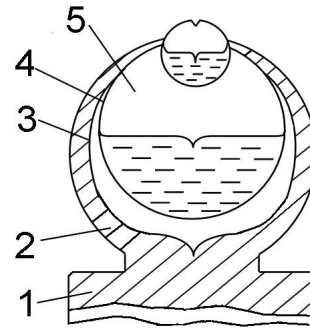


Рис. 2. Схема живлення виливка кульового надливу в процесі ЛГМ: 1 — виливок; 2 — надлив; 3 — кірка металу; 4 — коло; 5 — газова фаза

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Теоретические основы литейной технологии / [А. Ветишка, Й. Брадик, И. Мацашек, С. Словак]. — К. : Вища шк., 1981. — 381 с.
2. Виноградов О. Н. Экзотермические прибыли — расчет эффекта от использования [Электронный ресурс] / О. Н. Виноградов // URL: — Режим доступа : op-v.com.ua/новости-и-статьи/технологии-и-наука/ekonomicheskaya-effektivnost-ispolz/ (дата обращения : 12.06.2014).
3. Максимик М. Ю. Отработка состава экзотермических вставок для обогрева прибылей при изготовлении отливки ступица колеса прицепа в условиях стальной цеха № 2 РУП «МАЗ» / М. Ю. Максимик // IX Респ. студ. науч.-техн. конф. : сб. науч. работ. 23 — 25.04.2008. — Минск : УП «Технопарк БНТУ «Метолит», 2008. — С. 26—27.
4. Термокомпактирование отходов пенополистирола / [О. И. Шинский, О. А. Тихонова, А. А. Стрюченко, В. С. Дорошенко] // Твердые бытовые отходы. — 2011. — № 4. — С. 48—50.
5. Пат. UA 82838: МПК C08J 11/04 Україна Спосіб одержання полімерного композиційного матеріалу / Шинський О. Й. та ін. — Опубл. 12.08.2013, Бюл. 15.
6. Дорошенко С. П. Тривийний підхід к формованню направлених газового, усадочного и протипригарно-прочностного режимов при литті в песчаную форму / С. П. Дорошенко, О. И. Шинский, В. С. Дорошенко // Процессы лиття. — 2007. — № 3. — С. 9—13.

Рекомендована кафедрою технології підвищення зносостійкості ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 20.04.2017

Буровский Микола Йосипович — провідний інженер відділу фізико-хімічних процесів формоутворення; **Дорошенко Володимир Степанович** — канд. техн. наук, старший науковий співробітник відділу фізико-хімічних процесів формоутворення, e-mail: dorosh@ptima.kiev.ua ;

Бабіч Микола Володимирович — молодший науковий співробітник відділу фізико-хімічних процесів формоутворення, e-mail: klaus@moto.com.ua .

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів (ФТІМС) НАН України, (ФХПФ), Київ;

Янченко Олександр Борисович — канд. техн. наук, старший викладач кафедри технології підвищення зносостійкості, e-mail: 1961yab@gmail.com .

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

M. Yo. Burovskyi¹
V. S. Doroshenko¹
M. V. Babich¹
O. B. Yanchenko²

Exothermic Heating of Cross Gates in Lost Foam Casting

¹Physics Technological Institute of Metals and Alloys of NAS of Ukraine, Kyiv;

²Vinnitsia National Technical University

There have been developed three methods of manufacturing exothermic sleeves using a consumable pattern as a supporting structure. The methods include the use of hydrocarbon materials without additional pollution molding sand mixture kept at Lost Foam casting for multiple use. Calculation of production costs developed exothermic inserts by selecting optimal raw materials available in the domestic market, confirmed the effectiveness of their application. The concept of computer modeling of geometrical forms of the cross gate at Lost Foam Casting has been proposed.

Keywords: exothermic sleeves, cross gate casting, Lost Foam Casting, simulation, heat compacted waste.

Burovskyi Mykola N. — Leading Engineer of the Department of Physicochemical Processes of Form-Formation; **Doroshenko Volodymyr S.** — Cand. Sc. (Eng.), Senior Researcher of the Department of Physicochemical Processes of Form-Formation, e-mail: dorosh@ptima.kiev.ua ;

Babich Mykola V. — Junior Researcher of the Department of Physicochemical Processes of Form-Formation, e-mail: klaus@moto.com.ua ;

Yanchenko Oleksandr B. — Cand. Sc. (Eng.), Senior Lecturer of the Chair of Technology of Increasing of Wear Resistance, e-mail 1961yab@gmail.com

Н. И. Буровский¹
В. С. Дорошенко¹
Н. В. Бабич¹
А. Б. Янченко²

Экзотермический обогрев прибылей при литье по газифицируемым моделям

¹Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев;

²Винницкий национальный технический университет

Разработаны три способа изготовления экзотермических вставок с использованием газифицируемой модели в качестве несущей конструкции. Способы включают применение углеводородных материалов без дополнительного загрязнения песчаной формовочной смеси, многократно используемой во время литья по газифицированным моделям. Расчет затрат на производство разработанных экзотермических вставок за счет выбора оптимального сырья, имеющегося на отечественном рынке, показал эффективность их применения. Предложена концепция компьютерного моделирования геометрической формы прибылей в условиях ЛГМ.

Ключевые слова: экзотермические вставки, прибыль отливки, ЛГМ-процесс, моделирование, термокомпактированные отходы.

Буровский Николай Иосифович — ведущий инженер отдела физико-химических процессов формообразования;

Дорошенко Владимир Степанович — канд. техн. наук, старший научный сотрудник отдела физико-химических процессов формообразования, e-mail: dorosh@ptima.kiev.ua ;

Бабич Николай Владимирович — младший научный сотрудник отдела физико-химических процессов формообразования, e-mail: klaus@moto.com.ua ;

Янченко Александр Борисович — канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры технологии повышения износостойкости, e-mail 1961yab@gmail.com