

УДК 621.74.045

В. С. Дорошенко, С. І. Клименко

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, м. Київ

e-mail: doro55v@gmail.com

ОГЛЯД ПРОЦЕСУ ЛИТТЯ ЗА МОДЕЛЯМИ, ЩО ГАЗИФІКУЮТЬСЯ, В ТРЬОХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВАРІАНТАХ СТОСОВНО ГАЗОВОГО РЕЖИМУ ЛИВАРНОЇ ФОРМИ

Лиття за моделями, що газифікуються (ЛГМ), - це єдиний ливарний процес, що «перетворює» (заміщує) пінополістирол (ППС, рідше інший пінополімер) разової моделі в метал вилівка при заливанні піщаної форми цим металом.

В першому (як базовому) з сучасних варіантів, описаному В.С. Шуляком у його монографії 2007 р., модель у вакуумованих формах з сипкого піску рекомендовано покривати піском без контакту моделі з повітрям навколо форми. При цьому передбачено, що газу від газифікації моделі буде повністю всмоктано крізь пісок форми у систему очистки газів, поєднану з вакуумним насосом. Тиском цих газів разом з вакуумом в товщі піску створюють перепад тиску, що пресує і «цементує» (скріплює) пісок форми до камнеподібного стану. Цьому сприяє протипригарне покриття моделі контрольованої невисокої газопроникності. Тобто, газу від термодеструкції ППС в порожнині форми застосовано як корисний силовий фактор тиску, що утримує пісок форми від осипання в зазорі між металом і моделлю. При цьому частина поверхні порожнини форми герметизується металом і опирається на нього так само, як інша частина (крім зазору) герметизується моделлю і опирається на неї. В.С. Серебро з точки зору газового режиму називав ЛГМ литтям з рухомим джерелом газовиділення. Це джерело газовиділення перебуває між рідким металом і частиною твердої моделі з ППС протягом заливання форми металом.

Низка позитивних властивостей такого варіанту ЛГМ включає високий вихід придатного литва (часто без надливів і випорів), що більш характерно для виливання дрібних і середніх деталей, цим самим процес ЛГМ немовби продовжує за ваговою категорією і більшими розмірами виливків процес лиття за іншими разовими моделями - моделями, що витоплюються (ЛВМ). Якщо воскоподібні моделі при ЛВМ з габаритними

розмірами понад 100-150 мм можуть деформуватись від опливання, змінюючи свою геометрію, то моделі з ППС практично стабільні в габаритних розмірах до кількох метрів. Також для такого лиття заготовок невеликих розмірів при ЛГМ нескладно виготовити прес-форми і автоматизувати серійне виготовлення по ним моделей з ППС. Збирання дрібних моделей приклеюванням до стояка в кущі (кластери), які часом подібні до грона винограду, значно підвищує металоємність форми, порівно з формами в парних опоках з піщаної суміші зі зв'язувальним компонентом. Безумовні значні основні економічні і екологічні переваги (проти форм зі зв'язувальним компонентом) також при цьому складають: оборотне застосування сухого формувального піску, відсутність піщаних стрижнів, можливість вирізати моделі без модельної оснастки, перетворення операції вибивки виливків з форми у висипання сухого піску з контейнерних опок, а також підвищення точності виливків (не менше 7-го класу), зниження їх металоємності та інші [1].

Недоліками цього варіанту технології є те, що ливарникам без спеціальної підготовки не завжди просто оптимально поєднати близько десяти технологічних факторів, що впливають на отримання якісного (бездефектного) вилівка. Для цього необхідно освоїти і відпрацювати специфічні знання і навички, властиві ЛГМ. Оскільки в короткий період заливання металом ливарної форми відбувається не просто заповнення порожнини форми, а подання металу на разову модель, яка, газифікуючись, повинна давати таку кількість газу, з таким невисоким тиском, що не витискає метал з форми назад крізь стояк, і одночасно з таким немалим тиском, що утримує стінки форми без осипання сухого піску. При цьому дослідним шляхом визначено, що при гравітаційному литті металу в зазорі «метал-модель» газовий тиск може перевищувати атмосферний на 24-25 КПа (~25 %), а тривалість заливання форми металом може збільшуватись на ~60 % порівняно з порожнинною формою з тим небажаним явищем, що стінки різних товщин вилівка заповнюються металом з різною швидкістю.

Загалом, розвиваючись з другої половини минулого століття, сучасна технологія ЛГМ базується на результатах проведених масштабних досліджень гідрогазодинаміки, тепломасообмінних процесів, структуроутворення та формування фізико-механічних та експлуатаційних характеристик литих конструкцій із залізовуглецевих та кольорових сплавів при взаємодії рідкого сплаву та, що твердне, з продуктами термодеструкції, які утворюються у період випаровування піно-моделі безпосередньо у формі під дією теплового потоку металу, що заливається у форму. На підставі отриманих знань та встановлених закономірностей створено теоретичні та технологічні основи ЛГМ у вакуумовані форми як мінімум у десяти різних модифікаціях, включаючи отримання

моно- та армованих виливків, литих конструкцій з диференціальними властивостями із залізовуглецевих, кольорових сплавів з використанням гравітаційної заливки металу та під високим регульованим тиском [1]. Також створені у ФТІМС НАН України різновиди методів ЛГМ різняться і за способом застосування моновисокопористих піно-моделей, а також моделей, наповнених макро-, мікроармуючою фазою та модифікуючими, легуючими компонентами [1].

Таким чином, технологія ЛГМ протягом десяти років надійно відпрацьована, при цьому практично всі взаємопов'язані процеси і явища при ЛГМ успішно регулюються і відображаються в нормативних технологічних документах, що додаються при впровадженні її в виробництво. Проте, наявність на порядок більшої кількості факторів (ніж для лиття в порожнинні форми), що потребують контролю та попередньої ретельної технологічної підготовки і впливають на якість вилівка, на нашу думку, має гальмуючий вплив на розповсюдження ЛГМ в ливарних цехах. Цьому в деяких випадках також сприяє вірогідність негативного впливу на метал продуктів газифікації, а також проникнення в повітря цеху газових виділень із-за недотримання умов вакуумування форм та недостатнього застосування витяжної вентиляції.

Для усунення багатьох негативних явищ, пов'язаних з газифікацією моделі, О.Й. Шинським розроблено такий варіант ЛГМ, як ГАМОДАР-процес, при якому заливка металу у форму та затвердіння виливків здійснюються в умовах контрольованого тиску. Новизну різновидів цього процесу, оснащення і обладнання для його реалізації захищено більше двадцятьма патентами. Відмінною особливістю даного методу лиття є відсутність ливникової системи, і переваги полягають у підвищенні до 85 % і більше виходу придатного литва та збільшення механічних властивостей сплавів у вилівку за рахунок впливу на них тиску в період затвердіння. При цьому структура сплаву і його властивості наближаються до таких у заготовках, отриманих виливанням в металеву оснастку. Створений роторно-конвеєрний комплекс за ГАМОДАР-процесом в 1.5-3.0 рази перевершує за продуктивністю сучасні автоматичні ливарні лінії і забезпечує одержання виливків з залізовуглецевих та кольорових сплавів масою до 50 кг з високими споживчими показниками [2, 3].

Проте, ГАМОДАР-процес найбільш економічно вигідний здебільшого для середньо- і крупносерійного лиття. Він пов'язаний з точною металевою оснасткою, переважно гідравлічними пресами, конвеєрними лініями і мало прийнятний для поширених в нашій країні невеликих цехів ремонтного лиття, низької серійності та різнопланової номенклатури виливків, для виробництва яких найбільш вигідний базовий ЛГМ-процес.

Тому для таких цехів адаптовано дещо спрощений наступний варіант ЛГМ процесу переважно для виробництва середнього литва і з товщиною стінок від 8-10 мм.

Третій варіант ЛГМ за нашим розглядом пов'язаний з винаходом [4], призначеним передусім для лиття за моделями, що газифікуються в формах з піщаної суміші зі зв'язувальним компонентом (Full-Mold Casting). В цьому способі застосовано традиційний принцип виводу металу крізь трубчастий випор (яким нарощена разова модель) на поверхню ливарної таким чином, що в кінці заливання форми рідкий метал в стояку і у випорі знаходиться як у сполучених сосудах (посудинах), сполучну частину яких заповнено виливком. Про цьому з моменту початку заливання газу з порожнини форми, в якій газифікується модель, можуть виходити на поверхню форми крізь цей трубчастий випор і над ним згорають при їх підпалюванні.

Намір полягає не в пропусканні всіх гарячих газів крізь пісок форми від герметично закритої в формі моделі, а виведення їх на поверхню форми для знешкодження спалюванням. Адже в першому базовому варіанті ЛГМ значно важче очистити забруднені газифікаційними продуктами моделі пісок і викид газів в атмосферу.

Такий газовий режим з вентиляцією форми реалізують тим, що метал у форму заливають з підведенням його до моделі зверху, а в моделі попередньо виконують сполучений з випором вентиляційний канал, що перетинається в тілі моделі з потоком металу [4]. Таким методом канал, пропалений металом в моделі, сполучається з вентиляційним. При заливанні форми надмірний тиск газів стравлюється крізь канал випора, а заливання металу відрізняється від заливання традиційної порожнинної форми тим, що факел над випором від газифікації моделі горить більший, ніж звичайно. Експериментально перевірено, що вуглеводневі газу від термодеструкції моделі з ППС згорають повністю (до CO_2 і H_2O) без будь-якого диму над поверхнею залитої металом форми, що є вдалим екологічним рішенням.

Описаний спосіб ЛГМ [4] зі сполученням моделі трубчастим випором з поверхнею форми також адаптований нами для лиття у вакуумовані форми з сухого піску [5-7]. Вентиляційний канал знизу вгору (в тому положенні, як модель буде заформовано піском в контейнері) діаметром 5-10 мм вздовж стінки моделі запропоновано виконувати термоножем чи паяльником, в які в якості нагрітого леза вставлене кільце з мідного чи ніхромового дроту. При цьому в глибині стінки моделі пропалюють вентиляційний канал діаметром як у дротяного кільця, а на її поверхні залишається тонка повздовжня щілина на товщину дроту, яку заклеюють скотчем. У верхній точці моделі цей канал сполучають з каналом трубчастого випору, що виходить на поверхню форми.

Взагалі, прийнятний будь-який спосіб механічного чи термічного виконання вентиляційних каналів і направленої пористості в тілі моделі, якщо вздовж всієї моделі важко виконати канал, то його проводять від найбільш масивних чи найбільш газотвірних частин моделі.

Таким способом своїм газопроникним випором модель виводиться на поверхню форми, крізь який відходить газ і спалюється. Надмірний тиск газів у формі знижується з наближенням до атмосферного. Послаблюється ряд обмежень щодо невисокої густини моделі, обмежень по газопроникності протипригарної фарби. При достатній вентиляції форми її можна за властивостями наблизити до вакуумно-плівкової форми (ВПФ) шляхом формування полімерних оболонкових моделей з порожниною, яку застосовують в якості вентиляційного каналу [8]. При цьому такі моделі можна друкувати на 3D-принтері [8] і навіть їх розглядати наче товсту плівку при ВПФ.

Таким чином, нами розглянуто три варіанти ЛГМ-процесу: 1) з закритою піском моделлю в формі і гравітаційним заливанням форми, коли газовий режим залежить від характеристик форми, протипригарного покриття, швидкості підйому металу в формі і густини моделі; 2) з заливанням форми під регульованим тиском, коли газовий режим головним чином регулюється відповідно до величини тиску на метал, що заливається і кристалізується; 3) з вентиляцією форми і гравітаційним її заливанням, коли газовий режим наближають до умов порожнинної форми з трубчастим випором (як при ВПФ чи форми зі скріпленою сумішшю), надлишок газів виводять крізь випор і спалюють. Останній варіант має більше «ступенів свободи» щодо обмежень за технологічними параметрами, доступний як для вакуумованих, так і порожнинних форм, має потенціал адаптації до ЛГМ-процесу за друкованими моделями.

Список літератури

1. Шинский О.И., Марукович Е.И., Шалевская И.А., Шинский В.О., Клименко С.И. Экономика, экология, организация производств литья по газифицируемым моделям // Литье и металлургия. - 2017. - № 4. - С. 53-59.

2. Шинський О.Й. Роторно-конвеєрний комплекс отримання точних виливків під регульованим тиском за моделями, що газифікуються (ГАМОДАР-процес). URL: <http://www.ptima.kiev.ua/work/te/rus/te-r40.pdf>.

3. Патент 42003 Україна, МПК В22D18/00, В22D27/00. Лінія для лиття за моделями, що газифікуються, з кристалізацією під тиском / І.О. Шинський, О.Й. Шинський, П.М. Каричковський, О.А. Пелікан, В.А. Болюх. Опубл. 25.06.2009, Бюл. № 12.

4. Патент 67906 Україна, МПК В22 С9/04. 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.

5. Патент 147217 Україна, МПК В22С 7/02, В22С 9/04. Спосіб лиття металу за моделями, що газифікуються, з окисненням продуктів газифікації / О.Й. Шинський, В.С. Дорошенко. Опубл. 24.04.2021, Бюл. № 16.

6. Патент 150121 Україна. МПК: В22С 7/02, В22С 9/04. Спосіб лиття металу за адитивно виготовленими моделями, що газифікуються у вакуумованих формах з сипкого піску, з окисненням продуктів газифікації / О.Й. Шинський, В.С. Дорошенко. Опубл. 05.01.2022, Бюл. № 1.

7. Дорошенко В.С. Знешкодження газів, які виділяються при литті за моделями, що газифікуються // Метал і лиття України. - 2021. - № 2. - С. 64-71. <https://doi.org/10.15407/steelcast2021.02.060>.

8. Дорошенко В.С. Нейтралізація газів при литті металу за моделями, що газифікуються, та передумови застосування для цього 3D-друкованих моделей // Процеси лиття. - 2021. - № 3. - С. 32 – 43. <https://doi.org/10.15407/plit2021.03.032>.

УДК 621.74.045

В. С. Дорошенко, С. І. Клименко

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

e-mail: doro55v@gmail.com

ПРО НЕЗАДІЯНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ВАКУУМОВАНОЇ ЛИВАРНОЇ ФОРМИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАГАРТОВАНИХ ВИЛИВКІВ ДЛЯ ЗЕМЛЕРИЙНОЇ ТЕХНІКИ

Ливарні форми з сипкого піску, який зміцнено завдяки вакуумуванню, і досі мають нерозкритий ливарниками технологічний потенціал щодо використання плинних (текучих) можливостей сипкого піску. З появою таких форм практично зникла операція вибивання з форми виливків, яку перетворено в висипання сухого піску разом з вилівками з контейнерної чи рамкової опочної форми. Перша, контейнерна форма, властива литтю металу за моделями, що газифікуються (ЛГМ), а друга – вакуумно-плівкової формовці (ВПФ). На рис. 1 показано висипання форми при ЛГМ, а також видалення виливків з форми при зачепленні крановим крюком.