

В. С. Дорошенко, канд. техн. наук, ст. наук. співр.,
e-mail: doro55v@gmail.com

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

РЕАЛІЗАЦІЯ ВНУТРІШНІХ РЕЗЕРВІВ ПІЩАНОЇ ФОРМИ МЕТОДАМИ ПОДВІЙНОГО ВИКОРИСТАННЯ МОДЕЛЬНО- ФОРМУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ У ЛИВАРНИХ ПРОЦЕСАХ

Актуальність розвитку технології піщаної форми як важливої складової ливарних процесів обґрунтована тим, що в таких формах виробляють до 80 % тоннажу виливків, включно зі спеціальними видами лиття в такі форми. Потужності обладнання, площі, персонал ливарних цехів на 60–70 % відносяться до процесів формовки, включно із сумішоприготуванням та виготовленням стрижнів. Забруднення «з вини форми» може сягати 80 %. Значний потенціал для розвитку технології ливарної форми має удосконалення процесів лиття металу в форми з сипких піщаних сумішей без в'язучого, зокрема за моделями, що газифікуються. Представлено концепцію удосконалення процесів лиття металу в форми з сипкого піску методом подвійного застосування модельно-формувальних матеріалів та наведено приклади такого застосування. Використання сипких формувальних сумішей для швидкого охолодження виливка, включно з термообробкою, здатне зміцнювати його метал і скорочувати тривалість охолодження виливків у формі, що призводить до збільшення продуктивності ливарних цехів без нарощування кількості опочної оснастки та сипкого наповнювача форми. Способи ізотермічного гартування (аустемперінг) з гарячого стану виключають нагрівання з витримкою для аустенізації виливків із залізобуглецевих сплавів, чим скорочують час і енергоємність отримання продукції з бейнітною структурою і що, по суті, відповідає концепції реалізації внутрішніх резервів як піщаної форми, так і литого металу. Ливарні льодяні моделі не лише придатні до відтворення виливків з високою точністю, але й приймають участь у зміцненні піщаних сумішей по методу холодного тверднення шляхом утворення в них кристалогідратів, а також сприяють екологічності і економічності ливарних процесів шляхом заміни типових органічних модельно-формувальних матеріалів на неорганічні.

Ключові слова: піщана форма, формувальний матеріал, сипкий пісок, ізотермічне гартування, внутрішні резерви, крижані моделі, подвійне використання.

Актуальність розвитку технології піщаної форми як важливої складової ливарних процесів обґрунтована тим, що в таких формах виробляють до 80 % тоннажу виливків, включно зі спеціальними видами лиття, що застосовують піщану форму. Потужності обладнання, площі і персонал типового ливарного цеху на 60–70 % відносяться до процесів формування, включаючи сумішоприготування та виготовлення стрижнів. Забруднення «з вини форми» може сягати до 80 % всіх викидів ливарного цеху.

За умов, що серійний випуск формувального обладнання в Україні зупинено, актуальним напрямком розвитку технології ливарної форми є удосконалення процесів лиття металу в форми з сипких піщаних сумішей без в'язучого, зокрема за моделями, що газифікуються (ЛГМ). У цілому, піщана суміш при ЛГМ складається зі свіжого, оборотного і терморегенованого пісків, її зміцнюють вакуумуванням форми. А формувальне обладнання для ЛГМ (на відміну від громіздкого потужного обладнання для поширених традиційних формувальних процесів) доступне для виготовлення невеликим машинобудівним заводом і загалом не складніше від такого, що на багатьох заводах з виробництва будівельних матеріалів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій та досвіду застосування в ливарних цехах підтверджує переваги ЛГМ: віброущільнення сипкої суміші протягом 1–3 хв., відсутність складного обладнання для формовки і вибивки, багаторазовий обіг суміші та висока точність виливків як для дрібно-, так і крупносерійного виробництва. ФТМС

НАН України має безперечний пріоритет в розробці низки різновидів ЛГМ-процесу, резерви якого розкриті ще не до кінця.

Метою цієї публікації є обґрунтування на основі результатів останніх досліджень концепції подвійного використання модельно-формувальних матеріалів для підвищення ресурсоефективності (resource efficiency) ливарних процесів.

Спробуємо за допомогою образних аналогів описати охолодження металевого виливка, що твердне і охолоджується в піщаній формі після заливання в неї металу. Уявімо, що є будинок із цегли з гарячою піччю (по-перше), і коли цеглини починають сипатися, вони труться об піч і тим самим її охолоджують (по-друге). За аналогією з піщаною ливарною формою (зокрема, виготовленою за ЛГМ-процесом) з гарячим виливком в першому випадку піщана форма з сипкого піску представляє конструкцію ємності для лиття, а в другому – служить піщаним середовищем для конвективного охолодження [1]. Якщо уявімо, що цеглинки стали підстрибувати, битися об піч і її охолоджувати, то це буде аналогією зі створенням псевдозрідженого піщаного шару в контейнерній піщаній формі [2].

Якщо ми гарячий виливок із залізвуглецевого сплаву в аустенітному стані видалимо з сипкої піщаної суміші контейнерної форми, від якої відключено вакуумування, і в порожньому формувальному контейнері проведемо спреєрне гартування (чи гартування методом короткочасного занурення в рідину, або для тонкостінних виливків виконаємо гартування витримкою на повітрі) до температури початку бейнітного перетворення, а потім знову засиплемо (заформуємо) виливок у контейнері нагрітим піском з температурою в інтервалі бейнітного перетворення, то після витримки ми отримаємо виливок з бейнітною структурою металу [3]. В цьому випадку пісок форми слугуватиме середовищем (вже перейшовши з ливарних операцій до термообробки) для витримки виливка в бейнітному інтервалі температур при ізотермічному гартуванні виливка (замість традиційних умов його охолодження в піщаній формі з отриманням в структурі фериту чи перліту) і отримання бейнітної структури, яка, наприклад, для високоміцного чавуну здатна збільшити в 2,0–2,5 рази σ_b і відносне видовження δ (%) порівняно з литим станом [4]. При цьому швидке охолодження, як першу стадію ізотермічного гартування, можна провести в псевдозрідженому стані піску тієї ж форми, в якій затвердів виливок, бо такий шар відомий в застосуванні як гартувальне середовище, інтенсивність охолодження якого займає проміжне положення між водою і маслом [5].

По суті, вищезазначене можна назвати ливарно-металургійним чудом, в якому, просто змінивши режим охолодження уже затверділого виливка на режим ізотермічного гартування (austempering), ми можемо реалізувати внутрішні резерви підвищення міцності і зносостійкості з «гарячого» литого стану сталей різних структурних класів і чавунів, у тому числі з отриманням в їх структурі метастабільного аустеніту, що зазнає динамічного деформаційного мартенситного перетворення (ефект самогартування при навантаженні), що описано в монографії [6].

Контейнери для піщаних форм при ЛГМ традиційно виготовляють герметичними для вакуумування форми, що також дозволяє використовувати їх для гартування з застосуванням рідини і сипкого піску безпосередньо на ливарних дільницях [2–4]. Цим самим вони можуть отримати, крім ливарного призначення, також інше застосування – для термообробки з литого стану, про що, зокрема, у вітчизняній технічній літературі з цієї теми раніше не повідомлялось [7, 8].

Також до реалізації «внутрішніх резервів» вакуумованої піщаної форми шляхом «перетворення» її піщаної суміші з конструктивного до охолоджуваного чи нагрівального (при ізотермічній витримці) виливок матеріалу, крім подвійного використання сипкої піщаної суміші, можна віднести можливість подвійного застосування вакууму. Вакуум використовують, по-перше, для зміцнення піщаної форми (замість функції в'язучого в піщаній суміші для традиційної форми); по-друге, для

інтенсивного охолодження виливка шляхом засмоктування в суху піщану суміш дозованої кількості води [1] відповідно до заданих умов охолодження виливка.

Також не лише для формувального, але і для модельного матеріалу реалізовано подвійне застосування з таким різновидом разових ливарних моделей, як льодяні моделі [9]. Традиційно ливарні моделі «переносять» конфігурацію виливка, створюючи відповідну ливарну порожнину в піщаній формі. Але при видаленні моделі із форми методом фільтрації розплаву крізь пори піщаної суміші і її змочуванні може забезпечуватись твердіння цієї суміші за наявності в її складі відповідних порошкових гідратаційних в'язучих, що утворюють кристалогідрати. Таким чином, крижана модель, по-перше, моделює виливок і, по-друге, є носієм матеріалу, що отверджує сипку формувальну піщану суміш аналогічно холодно-тверднучій суміші (ХТС). Це дає змогу застосовувати переваги формування сипкими сумішами, що аналогічні за властивістю плинності зазначеним вище для ЛГМ, і виготовити оболонкову форму з ХТС [9].

Подвійне застосування сипких піщаних сумішей для швидкого охолодження виливка здатне (в тому числі, за режимами термообробки) зміцнювати його метал і скорочувати тривалість охолодження виливків у формі; останнє збільшує продуктивність ливарних цехів без нарощування кількості опочної оснастки і наповнювача форми [9]. Вказані вище методи гартування з литого стану (з видаленням із форми виливка червоного кольору практично відразу після його затвердіння) виключають додаткове, притаманне типовим методам термообробки, нагрівання для аустенізації виливків і скорочують час та енергоємність отримання продукції з бейнітною структурою (оми-наючи перлітне перетворення), що, по суті, відповідає концепції спільної реалізації внутрішніх резервів як піщаної форми, так і литого металу.

Льодяні моделі, крім здатності до високої точності відтворення виливків і можливості зміцнення піщаних сумішей шляхом утворення в них кристалогідратів (по методу ХТС), також сприяють екологічності і економічності ливарних процесів шляхом заміни типових органічних модельно-формувальних матеріалів на неорганічні [9].

Список літератури

1. Дорошенко В. С. Регулирование охлаждения отливки в вакуумируемой форме фильтрацией хладагентов и движением частиц песка // Литейное производство. – 2013. – № 10. – С. 32–37.
2. Дорошенко В. С., Клименко С. И., Калужный П. Б. Интенсификация теплоотвода при охлаждении отливок в литейной форме с сыпучим наполнителем методом его псевдооживления // Металл и литье Украины. – 2016. – № 6. – С. 22–26.
3. Дорошенко В. С. Возможности литья чугуна с шаровидным графитом по газифицируемым моделям с изотермической закалкой оливок // Литейное производство. – 2017. – № 11. – С. 7–14.
4. Дорошенко В. С. Предпосылки встраивания термообработки в процесс литья высокопрочного чугуна по газифицируемым моделям // Металл и литье Украины. – 2017. – № 6–7. – С. 10–16.
5. Гуляев А. П. Металловедение. 6-е изд. – М.: Металлургия, 1986. – 544 с.
6. Малинов Л. С., Малышева И. Е. Абразивная износостойкость сплавов с метастабильным аустенитом: монография. – Мариуполь: ГВУЗ «ПГТУ», 2018. – 189 с.
7. Найдек В. Л., Гаврилюк В. П., Неижко И. Г. Бейнитный высокопрочный чугун. – К., 2008. – 140 с.
8. Волощенко С. М. Створення наукових засад структуроутворення в високоміцному чавуні для підвищення зносостійкості змінних деталей сільгосптехніки та транспорту: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.02.01. – Київ, 2018. – 40 с.
9. Дорошенко В. С. Теоретичні і технологічні основи отримання піщаних форм із сухого дисперсного наповнювача для виробництва легковагих литих конструкцій: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.16.04. – Київ, 2018. – 37 с.

Поступила 10.12.2018

References

1. Doroshenko, V.S. (2013) Regulation of casting cooling in evacuated mold by filtration of coolants and movement of sand particles. Liteynoe proizvodstvo, no. 10, pp. 32–37 [in Russian].
2. Doroshenko, V. S., Klimenko, S. I., Kalyuzhnyi, P. B. (2016) Intensification of heat removal during cooling of castings in a mold with a bulk filler using the fluidization method. Metall i lite Ukrainyi, no. 6, pp. 22–26 [in Russian].
3. Doroshenko, V. S. (2017) Possibilities of casting nodular cast iron according to Lost Foam Casting process with austempering of castings. Liteynoe proizvodstvo, no. 11, pp. 7–14 [in Russian].
4. Doroshenko, V. S. (2017) Prerequisites for the incorporation of heat treatment into the process of casting high-strength cast iron according to gasified patterns. Metall i lite Ukrainyi, no. 67, pp. 10–16 [in Russian].
5. Gulyaev, A. P. (1986) Metal science. 6-e izd. M.: Metallurgiya, 544 p. [in Russian].
6. Malinov, L. S., Malyisheva, I. E. (2018) Abrasive wear resistance of alloys with metastable austenite: monograph. Mariupol: GVUZ «PGTU», 189 p. [in Russian].
7. Naydek, V. L., Gavrilyuk, V. P., Neizhko, I. G. (2008) Bainite ductile cast iron. K., 140 p. [in Russian].
8. Voloshchenko, S. M. (2018) Creation of Scientific Foundations of structure formation in high resistant pig iron for increasing endurance and durability of replaceable parts for agricultural equipment and transport: avtoref. dis. ... dokt. tekhn. nauk: 05.02.01. Kyiv, 40 p. [in Ukrainian].
9. Doroshenko, V. S. (2018) Theoretical and technological foundations for the production of sand molds from dry dispersion fillers for the production of lightweight cast structures: avtoref. dis. ... dokt. tekhn. nauk: 05.16.04, Kyiv, 37 p. [in Ukrainian].

Received 10.12.2018

В. С. Дорошенко, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., e-mail: doro55v@gmail.com

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

**РЕАЛИЗАЦИЯ ВНУТРЕННИХ РЕЗЕРВОВ ПЕСЧАНОЙ ФОРМЫ
МЕТОДАМИ ДВОЙНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
МОДЕЛЬНО-ФОРМОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ
В ЛИТЕЙНЫХ ПРОЦЕССАХ**

Актуальность развития технологии песчаной формы как важной составляющей литейных процессов обоснована тем, что в таких формах производят до 80 % тоннажа отливок, включая специальные виды литья в такие формы. Мощности оборудования, площади и персонал литейных цехов на 60–70 % относятся к процессам формовки, включая смесеприготовление и изготовление стержней. Загрязнение «по вине формы» может достигать 80 %. Значительный потенциал для развития технологии литейной формы имеет усовершенствование процессов литья металла в формы из сыпучих песчаных смесей без связующего, в частности, по газифицируемому моделям. Представлена концепция совершенствования процессов литья металла в форме из сыпучего песка методом двойного применения модельно-формовочных материалов, и приведены примеры такого применения. Использование сыпучих формовочных смесей для быстрого охлаждения отливки, включая термообработку, позволяет упрочнить ее металл и сократить продолжительность охлаждения отливок в форме, что приводит к увеличению производительности литейных цехов без наращивания количества опочной оснастки и наполнителя формы. Способы изотермической закалки (аустемперинг) с горячего состояния отливок из железоуглеродистых сплавов исключают нагрев и выдержку для их аустенизации, что сокращает время и энергоемкость получения продукции с бейнитной структурой, а также, по сути, соответствует концепции реализации внутренних резервов как песчаной формы, так и литого металла. Литейные ледяные модели не только пригодны для воспроизводства отливок с высокой точностью, но и принимают участие в упрочнении песчаных смесей по методу холодного твердения путем образования в них кристаллогидратов, а также способствуют экологичности и экономичности литейных процессов путем замены обычных органических модельно-формовочных материалов на неорганические.

Ключевые слова: песчаная форма, формовочный материал, сыпучий песок, изотермическая закалка, внутренние резервы, ледяные модели, двойное использование.

V. S. Doroshenko, Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher,
e-mail: doro55v@gmail.com

Phisico-Tehnological Institute of Metals and Alloys NAS of Ukraine, Kyiv

REALIZATION OF INTERNAL RESERVES OF SAND FORM BY DUAL USE OF MODEL-FORMING MATERIALS IN FOUNDRY

The urgency of the development of the technology of sand mold, as an important component of foundry processes, is based on the fact that in such molds produce up to 80 % of the tonnage of castings, including special types of casting in such molds. The capacity of the equipment, area and personnel of foundries on 60–70 % relate to the molding processes, including mixing and core manufacturing. Pollution due to fault mold can reach 80 %. Significant potential for the development of molding technology is the improvement of the processes of casting metal into molds from loose sandy mixtures without binder, in particular, in the Lost Foam Casting process. The concept of improving the processes of casting metal in the mold of granular sand using the dual use of pattern and molding materials is presented, and examples of such an application are given. The use of loose molding compounds for rapid cooling of the casting, including heat treatment, makes it possible to strengthen its metal and shorten the duration of cooling of castings in the mold, which leads to an increase in the productivity of foundries without increasing the number of tooling and mold filler. Methods of isothermal quenching (austempering) from a hot state of castings from iron-carbon alloys exclude heating and aging for their austenization, which reduces the time and energy consumption of obtaining products with a bainitic structure, and also, in fact, corresponds to the concept of the implementation of internal reserves of both sand mold and cast metal. Casting ice patterns are not only suitable for the reproduction of castings with high accuracy, but also take part in the hardening of sand mixtures by the method of cold hardening by forming crystalline hydrates in them, and also contribute to the environmental and efficiency of foundry processes by replacing conventional organic pattern and molding materials with inorganic ones.

Keywords: sand mold, molding material, isothermal hardening, austempering, internal reserves, icy patterns, dual use, Lost Foam Casting.

Вниманию авторов!

Статьи, поступающие в редакцию, должны иметь аннотации и ключевые слова на русском, украинском и английском языках. Объём статьи — не более **10 стр.**, рисунков — не более **5**.

Статьи подаются как на бумажном, так и электронном носителях. Для текстовых материалов желательно использовать формат **doc**. Для графических материалов — формат **jpeg**. Графические материалы необходимо сохранять в отдельных файлах. Фотографии, рисунки, графики и чертежи должны быть черно-белыми, четкими и контрастными.

Статьи в редакции проходят научное рецензирование.