

1 [324]

ТОМ 29

2021

ISSN 2077-1304 PRINT
ISSN 2706-5529 ONLINE

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ

**МЕТАЛ
ТА ЛІТТЯ
УКРАЇНИ**
METAL AND CASTING OF UKRAINE



Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України

steelcast.com.ua

steelcastjournal@gmail.com

Науково-технічний журнал
Зареєстровано в Міністерстві юстиції України
Свідоцтво про державну реєстрацію
засобу масової інформації: КВ № 24088-13928 ПР
від 06.08.2019 р.

Виходить 4 рази на рік
Видається з червня 1993 року

Рекомендовано до друку Вченою радою
Фізико-технологічного інституту металів
та сплавів НАН України

Журнал входить до Переліку наукових фахових видань
України (категорія "Б"), затвердженого Наказом № 409 від
17.03.2020 р. Міністерства науки та освіти України, в яких
можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на
здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук
(технічні науки).

Том 29
№1 (324)'2021

МЕТАЛ ТА ЛИТТЯ України

METAL AND CASTING OF UKRAINE

Засновник: Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України

Видавець: Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України

Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова Національної академії наук України

Асоціація ливарників України

Українська асоціація сталеплавильників

ВИРОБНИЦТВО ЧАВУНУ ТА СТАЛІ

Положай С.Г., Мазур С.В., Музичук С.В., Райковський І.М.

Підвищення ефективності випалу вапна в обертовій печі з використанням пило-деревного палива 8

ПРОЦЕСИ БЕЗПЕРЕРВНОГО РОЗЛИВАННЯ СТАЛІ

Opryshko L.V., Golovniak T.V.

Processing plasticity of metal of nondeformed continuously cast tube billets. 14

Смірнов О.М., Верзілов О.П., Кравченко А.В., Смірнов Ю.О., Семенко А.Ю., Гойда Д.І.

Фізичне моделювання поведінки розплаву і формування застійних зон в однострумковому проміжному ковші при розливанні в умовах металургійного мікро-заводу 20

ТЕПЛОФІЗИЧНІ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ ТВЕРДІННЯ МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ

Терновий Ю.Ф., Пригунова А.Г., Панова В.О.

Вимушений теплообмін і швидкість охолодження крапель при одержанні металевих порошоків розплавом розплаву водою 26

ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА І ПРОЦЕСИ ЛИТТЯ МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ

Ямшинський М.М., Федоров Г.Є.

Окалиностійкість хромоалюмінієвих сталей в агресивних середовищах 32

ПРОЦЕСИ, ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕРІАЛИ ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

Солоненко Л.І., Реп'ях С.І.

Виготовлення ливарних форм паро-мікрохвильовим затвердінням за моделями із заморожених піщано-водяних сумішей 38

Бубликов В.Б., Нарівський А.В., Бачинський Ю.Д.

Технологія одержання тонкостінних виливків з високоміцного чавуну в облицьованих кокілях з використанням внутрішньоформового модифікування розплаву 46

Гнатуш В.А., Ворон М.М.	
Актуальні аспекти вмісту водню та кисню в алюмінієвих сплавах	54
<u>СПЕЦІАЛЬНІ МЕТОДИ ЛИТТЯ</u>	
Лютій Р.В., Дорошенко В.С., Тишковець М.В.	
Дослідження процесів тверднення стрижневих сумішей з фосфатними зв'язувальними компонентами, в тому числі для адитивного формування	61
Небожак І.А., Дерев'янка О.В.	
Структура литого композиційного матеріалу системи [Al – FeCr], отриманого з використанням дисперсно-наповненої моделі, що газифікується	70
<u>ОБРОБКА МЕТАЛІВ ТИСКОМ</u>	
Бабаченко О.І., Кононенко Г.А., Подольський Р.В., Сафронова О.А.	
Дослідження мікроструктури і твердості дослідних рейкових сталей в литому стані, після гарячої пластичної деформації і термічної обробки	81
<u>РЕСУРС- ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА ПІДПРИЄМСТВАХ МЕТАЛУРГІЙНОЇ ГАЛУЗІ І У ЛИВАРНИХ ЦЕХАХ</u>	
Смірнов О.М., Петрищев А.С.	
Дослідження структури ресурсозберігаючого легуючого сплаву з вмістом Fe, Ni, Cr, W, Mo, Nb, Ti, отриманого з техногенних відходів, для підвищення безпеки життєдіяльності	87
<u>ХРОНІКА. ІНФОРМАЦІЯ</u>	
Прес-реліз XVI Міжнародної науково-практичної конференції «Литво. Металургія – 2020»	94
Прес-реліз VII Міжнародної науково-технічної конференції «Український ринок металобрухту: практичні аспекти та сучасні виклики»	97
<i>Вітаємо!</i>	
80 років Євлашу Костянтину Федотовичу	98
75 років Шинському Олегу Йосиповичу.	99
<i>Пам'ятаємо</i>	
Яскевич Інну Авдіївну	100
Єфімова Віктора Олексійовича (до 100-річчя від дня народження).	101
Перелік конференцій у 2021 році.	102
Перелік статей, опублікованих у науково-технічному журналі «Метал та лиття України» у 2020 році. . .	103

Scientific and technical Journal
Registered by the Ministry of Justice of Ukraine
State registration certificate of print media:
KB № 24088-13928 ПП
from 06.08.2019
Published 4 times a year
Issued since June 1993

Recommended for print by Scientific Council of the Physico-
technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of
Ukraine

The journal is included into the List of Scientific Professional
Editions of Ukraine (category "B"), approved by Decree
no. 409 of 17.03.2020 of the Ministry of Education and
Science of Ukraine, in which the results of PhD and Doctoral
theses (in Technical Sciences) may be published.

Vol. 29
№1 (324)'2021

METAL & CASTING of Ukraine METAL AND CASTING OF UKRAINE

Founder: Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the National Academy of Sciences of Ukraine

Publishers: Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the National Academy of Sciences of Ukraine

Iron and Steel Institute of Z.I. Nekrasov of the National Academy of Sciences of Ukraine

Foundry Association of Ukraine

Ukrainian Steelmakers Association

PRODUCTION OF IRON AND STEEL

Polozhaj S.G., Mazur S.V., Muzychuk S.V., Raykovsky I.M.

Improving the efficiency of lime firing in a rotary kiln using wood powder as fuel 8

CONTINUOUS CASTING OF STEEL

Opryshko L.V., Golovniak T.V.

Processing plasticity of metal of nondeformed continuously cast tube billets. 14

Smirnov O.M., Verzilov O.P., Kravchenko A.V., Smirnov Yu.O., Semenko A.Yu., Hoida D.I.

Physical modeling of traffic behavior and formation of stagnant zones in a single-line tundish during casting
in the conditions of a metallurgical micro-mill 20

THERMAL-PHYSICAL AND PHYSICO-CHEMICAL PROCESSES OF METALS AND ALLOYS SOLIDIFICATION

Ternovyj Yu.F., Prigunova A.G., Panova V.O.

Forced heat exchange and cooling rate of drops at producing metal powders by melt water atomization 26

TECHNOLOGIES AND PROCESSES OF CASTING METALS AND ALLOYS

Yamshynskiy M.M., Fedorov G.Ye.

Oxidation resistance of aluminum chromium steels in aggressive environments 32

PROCESSES, TECHNOLOGIES AND MATERIALS IN FOUNDRY

Solonenko L.I., Repyakh S.I.

Manufacture of foundry forms by steam-microwave hardening by models from frozen sand-water mixtures . . 38

Bublikov V.B., Narivskiy A.V., Bachynskiy Yu.D.

Technology of thin-walled ductile cast iron castings obtaining in coated metal moulds with the use of in-mold
melt modifying 46

in the issue

Gnatush V.A., Voron M.M.	
Current aspects of hydrogen and oxygen content in aluminum alloys	54
<u>SPECIAL CASTING TECHNIQUES</u>	
Liutyi R.V., Doroshenko V.S., Tyshkovets M.V.	
Investigation of hardening processes of core mixtures with phosphate binders, including for additive sand molding	61
Nebozhak I.A., Derev'yanko O.V.	
Structure of the cast composite material for system [Al – FeCr], obtained by application of dispersonally filled gasifying model	70
<u>METAL PROCESSING BY DEFORMATION</u>	
Babachenko O.I., Kononenko G.A., Podolskyi R.V., Safronova O.A.	
Investigation of the microstructure and hardness of experimental rail steels in the cast state, after hot plastic deformation and heat treatment	81
<u>RESOURCE AND ENERGY SAVING IN METALLURGY AND FOUNDRY</u>	
Smirnov O.M., Petryshchev A.S.	
Study of the structure of a resource-saving alloying alloy containing Fe, Ni, Cr, W, Mo, Nb, Ti obtained of technogenic waste for improving the life safety	87
<u>CHRONICLE. INFORMATION</u>	
Press release of the XVI International Scientific and Practical Conference “Casting. Metallurgy – 2020”	94
Press release of the VII International Scientific and Technical Conference “Ukrainian Scrap Market: Practical Aspects and Current Challenges”	97
<i>Congratulations!</i>	
Yevlash K.F. is 80 years old	98
Shynskyi O.Y. is 75 years old.	99
<i>Remember</i>	
Yaskevych I.A.	100
Yefymov V.O. (100th anniversary of his birth).	101
List of conferences in 2021.	102
List of articles published in the scientific and technical journal “Metal and Casting of Ukraine” in 2020.	103

- Смірнов О.М.** головний редактор, д-р техн. наук, проф., зав. відділу, Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України, Київ, Україна
- Дубодєлов В.І.** заступник головного редактора, д-р техн. наук, проф., акад. НАН України, зав. відділу, Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України, Київ, Україна
- Верзілов О.П.** відповідальний секретар, канд. техн. наук, ст. наук. співр., Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України, Київ, Україна
- Бабаченко О.І.** д-р техн. наук, ст. наук. співр., директор, Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова Національної академії наук України, Дніпро, Україна
- Величко О.Г.** д-р техн. наук, проф., чл.-кор. НАН України, ректор, Національна металургійна академія України, Дніпро, Україна
- Гнилоскуренко С.В.** канд. техн. наук, зав. відділу, Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України, Київ, Україна
- Гридін О.Ю.** д-р техн. наук, доц., заст. зав. кафедри, Падерборнський університет, Падерборн, Німеччина
- Кавалек Г.А.** проф., Ченстоховський політехнічний університет, Ченстохова, Польща
- Камкіна Л.В.** д-р техн. наук, проф., декан металургійного факультету, проф. кафедри, Національна металургійна академія України, Дніпро, Україна
- Клименко С.І.** канд. техн. наук, директор Департаменту ливарного виробництва, Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України, Київ, Україна
- Кондратюк С.Є.** д-р техн. наук, проф., зав. відділу, Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України, Київ, Україна
- Ладохін С.В.** д-р техн. наук, проф., гол. наук. співр., Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України, Київ, Україна
- Лихошва В.П.** д-р техн. наук, проф., зав. відділу, Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України, Київ, Україна
- Лобанов Л.М.** д-р техн. наук, проф., акад. НАН України, ІЕЗ ім. Є.О. Патона Національної академії наук України, Київ, Україна
- Мазур В.Л.** д-р техн. наук, проф., чл.-кор. НАН України, гол. наук. співр., Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України, Київ, Україна
- Найдек В.Л.** д-р техн. наук, проф., акад. НАН України, радник при дирекції, Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України, Київ, Україна
- Ноговіцин О.В.** д-р техн. наук, ст. наук. співр., заст. директора з науково-технічної роботи, Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України, Київ, Україна
- Нурадінов А.С.** д-р техн. наук, ст. наук. співр., пров. наук. співр., Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України, Київ, Україна
- Петренко В.А.** д-р техн. наук, проф., засл. діяч науки і техніки України, Національна металургійна академія України, Дніпро, Україна
- Пономаренко О.І.** д-р техн. наук, проф., проф. кафедри, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна
- Приходько І.Ю.** д-р техн. наук, ст. наук. співр., зав. відділу, Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова Національної академії наук України, Дніпро, Україна
- Сігарьов Є.М.** д-р техн. наук, проф., зав. кафедри, Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське, Україна
- Чернятевич А.Г.** д-р техн. наук, проф., зав. відділу, Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова Національної академії наук України, Дніпро, Україна
- Шинський О.Й.** д-р техн. наук, проф., зав. відділу, президент Асоціації ливарників України, Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України, Київ, Україна

Л.І. Солоненко¹, канд. техн. наук., доц. каф. технології та управління ливарними процесами, e-mail: solonenkoli14@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2029-8044>

С.І. Реп'ях², д-р техн. наук., проф. каф. ливарне виробництво, e-mail: 123rs@ua.fm, <https://orcid.org/0000-0003-0203-4135>

¹Одеський національний політехнічний університет (Одеса, Україна)

²Національна металургійна академія України (Дніпро, Україна)

Виготовлення ливарних форм паро-мікрохвильовим затвердінням за моделями із заморожених піщано-водяних сумішей

В статті досліджується можливість використання (комбінування) замороженої піщано-водяної моделі, що являє собою при нагріванні джерело пари, та паро-мікрохвильового затвердіння для отримання складних за конфігурацією об'ємно-замкнутих форм, а також вплив масового вмісту води у піщано-водяній моделі на якість поверхні отриманих об'ємно-замкнутих ливарних форм.

У дослідженнях використовували кварцовий пісок марки 1K₂O₂02, дистильовану воду, натрієве рідке скло з силікатним модулем 2,8–3,0 і питомою щільністю 1,43–1,46 г/см³, плакований кварцовий пісок 1 % рідкого скла (за масою, понад 100 % піску) висушений на повітрі і в полі мікрохвильового випромінювання. Температуру вимірювали високоточним термометром Greisinger G 1700 з точністю 1 °С, зважування проводили на електронних вагах марки МН200 з точністю 0,01 г. Структурування форм, сушіння плакованого піску, нагрів наважок води, суміші води та піску, заморожених наважок суміші води та піску проводили в мікрохвильовій печі з номінальною потужністю магнетрона 900 Вт і частотою випромінювання 2,45 ГГц.

Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що комбінування паро-мікрохвильового затвердіння і моделі з замороженої піщано-водяної суміші дозволяє отримувати складні за конфігурацією об'ємнозамкнуті форми. Виготовлені ливарні форми за даним технічним рішенням відразу після виготовлення придатні до використання, оскільки практично не містять вологи і, відповідно, практично не газотвірні. Запропонованим способом можна виготовляти форми будь-якої складності, а їх обмеження за масою і розмірами будуть зумовлені виключно розмірами робочого простору використовуваної морозильної камери та камери мікрохвильового випромінювання. Встановлено, що тривалість випаровування води в полі мікрохвильового випромінювання збільшується з підвищенням маси води, що випаровується, і багато в чому залежить від матеріалу середовища, з якого вона випаровується, та його початкової температури. Для виготовлення об'ємно-замкнутих форм, заморожені моделі доцільно виготовляти з суміші кварцового піску і 5–10 % води (за масою, понад 100 % піску). Запропонований спосіб виготовлення об'ємно-замкнутих форм достатньо технологічний і може бути рекомендований для виробництва дрібних виливків зі сплавів на основі заліза, міді, алюмінію загальномашинобудівного призначення в умовах одиничного і дрібносерійного виробництва литва.

Ключові слова: ливарна форма, піщано-рідкоскляна суміш, паро-мікрохвильове затвердіння, заморожена модель, рідке скло, пісок, вода.

Аналіз літературних даних. Способи виготовлення об'ємно-замкнутих ливарних форм за одноразовими замороженими моделями переважно орієнтовані на виготовлення виливків загальномашинобудівного призначення в умовах одиничного і дрібносерійного виробництва литва.

Використання замороженої води в якості самостійного матеріалу або сполучної речовини піщано-водя-

них сумішей для виготовлення моделей виливків та ливарних форм запропоновано і описано в багатьох публікаціях [1–15]. Всі ці способи, вирішуючи ту чи іншу задачу, характеризуються рядом суттєвих недоліків, основними з яких є їх відносно невисока продуктивність, температурна обмеженість використання, висока газотвірність і та обставина, що формувальна суміш втрачає контакт з крижаною моделлю раніше,

чим закінчується хімічна реакція, що призводить до структурування (твердіння) самої формувальної суміші. Тобто, під час танення крижаної моделі, формувальна суміш, втрачаючи опору (крижану модель), набуває певної рухливості під власною вагою. Така здатність суміші призводить до викривлення конфігурації робочої порожнини форми або фрагментарного обвалу робочих поверхонь форми і, відповідно, до значного погіршення якості виливків.

Постановка задачі. Існуючі способи виготовлення ливарних форм за льодовими та замороженими моделями виливків, володіючи потенційно великими технологічними можливостями, характеризуються значним числом істотних недоліків та фрагментарністю виконаних досліджень. У зв'язку з цим розв'язання задачі щодо технології з виробництва об'ємно-замкнених ливарних форм з використанням моделей виливків із заморожених піщано-водяних сумішей є актуальним.

Мета роботи. Метою роботи є дослідження впливу масового вмісту води у піщано-водяній моделі на якість поверхні об'ємно-замкнених ливарних форм, що структурували способом паро-мікрохвильового затвердіння (ПМЗ).

Об'єкт і методика досліджень. Об'єкт досліджень – об'ємно-замкнуті ливарні форми, що виготовляють шляхом структурування піщано-рідкоскляних сумішей за ПМЗ-процесом з використанням моделей виливків та їх ливникових систем із заморожених піщано-водяних сумішей.

У дослідженнях використовували кварцовий пісок з вмістом глинистої складової менше 0,5 % (за масою) і переважним розміром піщинок 0,23 мм, дистильовану воду, натрієве рідке скло (РС) (ГОСТ 13078-81) з силікатним модулем 2,8–3,0 і питомою щільністю 1,43–1,46 г/см³. Температуру вимірювали високоточним термометром Greisinger G 1700 з точністю 1 °С, зважування проводили на електронних вагах марки МН200 з точністю 0,01 г.

Для визначення тривалості випаровування води з наважок води, суміші води і 100 г кварцового піску

при температурі +17 °С та замороженої суміші води і 100 г кварцового піску при температурі -17 °С поміщали в картонні ємності Ø75 × 90 мм і встановлювали в центр обертового столу мікрохвильової печі з номінальною потужністю магнетрона 900 Вт і частотою випромінювання 2,45 ГГц. Зміна маси наважок в часі оцінювали за результатами періодичного зважування наважок. У дослідженнях використовували наважки води масою 5, 10, 15 і 20 г.

Плакування кварцового піску для виготовлення ливарної форми проводили шляхом введення в нього 1 % РС (за масою, понад 100 % піску), сушіння піску на повітрі протягом 2 годин при кімнатній температурі і подальшого сушіння його в мікрохвильовій печі протягом 3 хвилин.

Для отримання замороженої піщано-водяної моделі використовували суміш кварцового піску з 5 % (за масою, понад 100 % піску) дистильованої води. Заморожування моделі проводили в морозильній камері з температурою -17 °С протягом 12 годин.

Результати досліджень. Відповідно до способу ПМЗ, вода (водяний заряд – ВЗ) в робочому просторі стрижневого ящика або оснащення для виготовлення ливарної форми може перебувати в окремій порожнині, в складі суміші з піском, в замороженій суміші з піском, в пінополіуретановому вкладиші і т. п. Різноманітність виконання ВЗ для реалізації способу ПМЗ позначається насамперед на тривалості випаровування води з ВЗ.

З метою встановлення особливостей випаровування води з ВЗ різної маси (m_{H_2O}) визначали тривалість випаровування води з наважок чистої води, суміші води і кварцового піску, замороженої суміші кварцового піску і води, пінополіуретанової губки. Результати виконаних досліджень представлено у вигляді відповідних залежностей на рис. 1.

З аналізу ходу залежностей на рис. 1 випливає, що зі збільшенням маси води у ВЗ тривалість її випаровування зростає і багато в чому залежить від умов, в яких вода знаходиться у ВЗ. При цьому, з числа досліджених варіантів виконання ВЗ тривалість випаровування

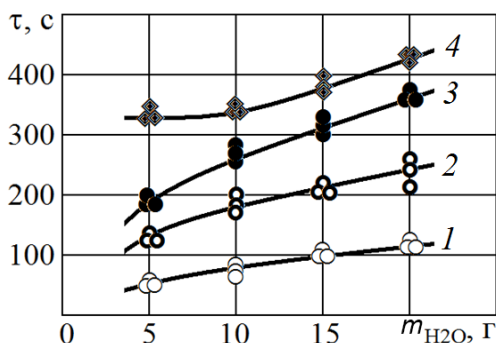


Рис. 1. Залежність тривалості випаровування води від її маси в мікрохвильовому випромінюванні:

1 – вода з початковою температурою +17 °С; 2 – вода в 100 г кварцового піску з початковою температурою +17 °С; 3 – замерзла вода в 100 г кварцового піску з початковою температурою -17 °С; 4 – вода з початковою температурою +17 °С в пінополіуретановій губці



Рис. 2. Вид зразка із замороженої піщано-водяної суміші

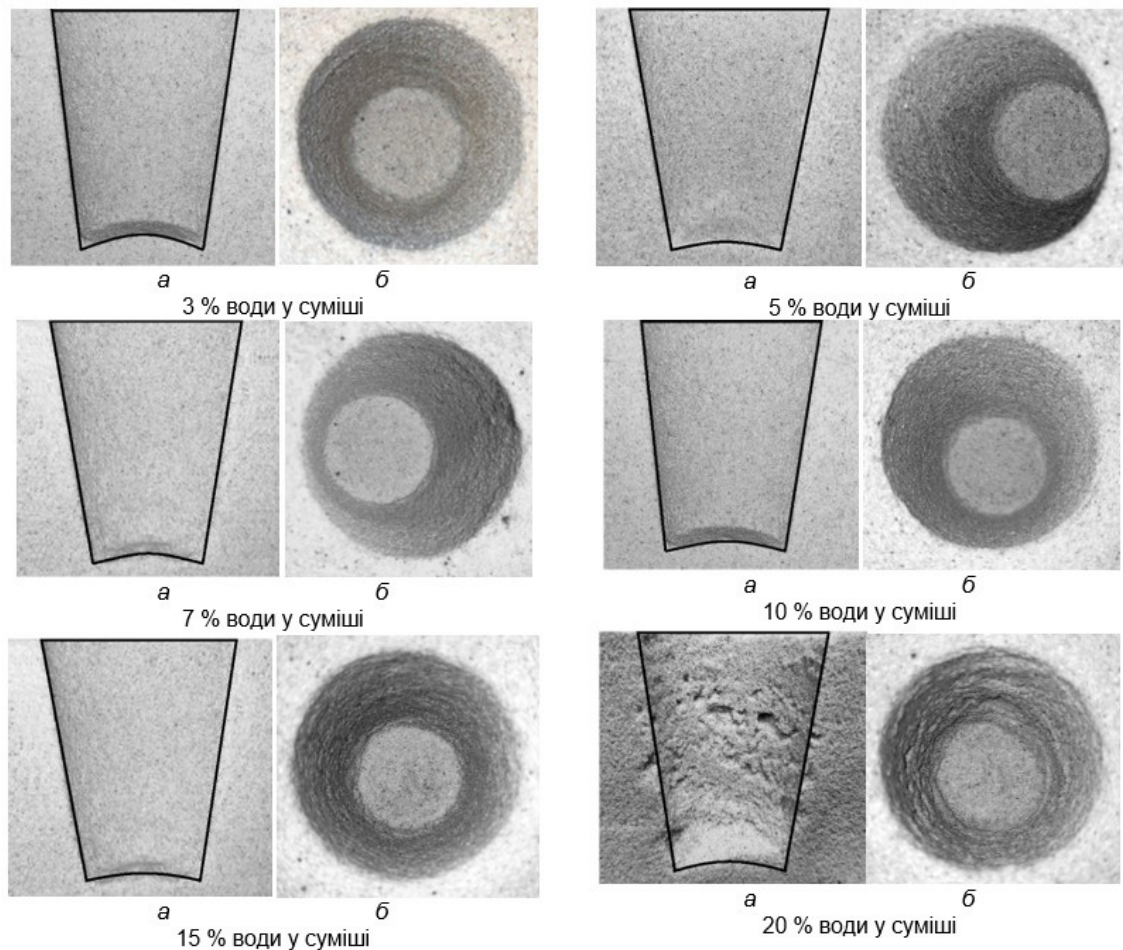


Рис. 3. Вид робочих поверхонь об'ємно-замкнутої ливарної форми в розрізі (а) і зверху (б), виготовлених за моделями із заморожених піщано-водяних сумішей, що містять різну кількість води

води з попередньо замороженої піщано-водяної суміші близька до аналогічного показника для води в пінополіуретані.

Для визначення меж вмісту води в піщано-водяній суміші з сумішей з різним вмістом води (від 3 до 20 г на 100 г кварцового піску марки $1K_2O_2O_2$) виготовляли зразки у вигляді усіченого конусу (див. рис. 2), які заморожували при температурі $-17\text{ }^\circ\text{C}$.

Для випробувань зразки під рівень їх більшої підстави засипали кварцовим піском, для плакування якого використовували 1 % (за масою, понад 100 % піску) натрієвого РС з питомою щільністю $1,44\text{ г/см}^3$ і величиною силікатного модуля 2,9. Після вібраційного ущільнення плакованого піску, короб поміщали в мікрохвильову піч і нагрівали в ній зразки протягом 7 хвилин. Після закінчення мікрохвильової обробки з робочих порожнин виготовлених форм висипали сухий пісок і візуально оцінювали якість їх робочих поверхонь, вид яких представлено на рис. 3.

Аналіз якості поверхонь показує, що за результатами візуальної оцінки для кварцового піску використаної марки раціональним є вміст води від 5 до 10 % (понад 100 % кварцового піску). Дані межі зумовлені тим, що при вмісті води в суміші менше 5 % робоча поверхня ливарної форми осипається від легкого дотику до неї рукою. При вмісті води в суміші більше 10 % робоча поверхня набуває хвилястості, а при 20 % на поверхні з'являються ще й раковини.

Таким чином, з викладеного вище випливає, що з замороженої суміші кварцового піску і води можна виконувати у вигляді моделі виливки та її ливникову систему. Тобто, існує ймовірність реалізації технології виготовлення об'ємно-замкнутих форм за одноразовими замороженими піщано-водяними моделями виливків, де заморожена піщано-водяна модель виливка і її ливникова система виконуватимуть функції ВЗ. При цьому, заморожена модель може не контактуватися (Варіант А, варіант В) і контактуватися (Варіант С) з відкритою поверхнею ливарної форми. Схеми етапів виконання ливарної форми за моделлю, що не контактується з відкритою поверхнею, представлено на рис. 4 та рис. 5.

Відповідно до рис. 4 (а) заморожену модель 1, яку попередньо витягли з поліетиленового стрижневого ящика, встановлювали ливниковою лійкою вниз у поліетиленовий короб 2, простір між стінками короба і моделлю заповнювали плакованим піском 3 (див. рис. 4, б). Ущільнювали плакований пісок 3 вібрацією. Ущільнення суміші проводили на вібраційному столі протягом 2 хвилин при амплітудах коливання від 0,8 до 1,0 мм, з частотою коливань 50 Гц. Зібрану конструкцію обробляли мікрохвильовим випромінюванням з частотою 2,45 ГГц при потужності магнетрону 900 Вт протягом 7 хвилин. Після закінчення обробки мікрохвильовим випромінюванням короб кантували на 180° (див. рис. 4, в), оскільки в робочій

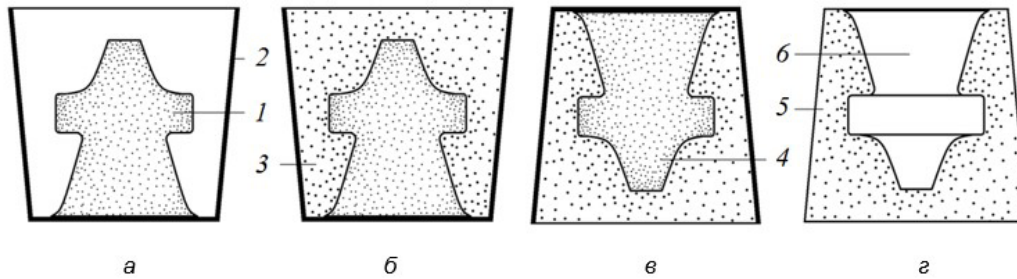


Рис. 4. Схеми (варіант А) розташування замороженої моделі з закритою поверхнею в поліетиленовому коробі (а), формувальній суміші в коробі на моделі (б), коробка після його кантування (в), ливарної форми після видалення з неї зернистого матеріалу моделі (г): 1 – заморожена модель; 2 – поліетиленовий короб; 3 – плакований пісок; 4 – чистий сухий пісок; 5 – ливарна форма (структурований пісок); 6 – робоча порожнина ливарної форми

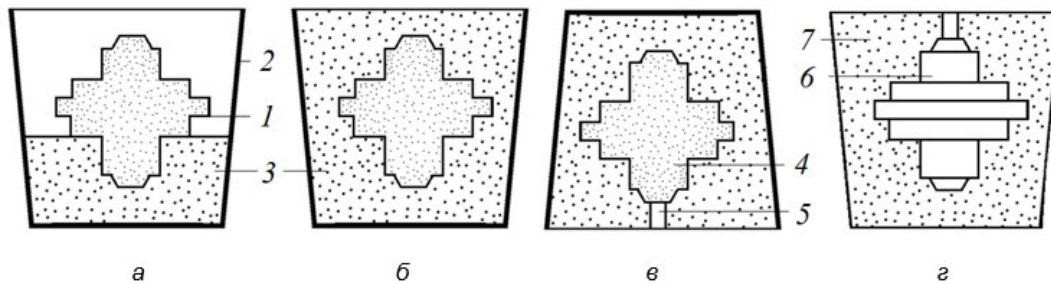


Рис. 5. Схеми (варіант В) розташування замороженої моделі з закритою поверхнею в поліетиленовому коробі на подушці із плакованого піску (а), формувальній суміші в коробі поверх моделі (б), коробка після прорізання отвору в ливарній формі та його кантування (в), ливарної форми після видалення з неї зернистого матеріалу моделі та повторного кантування (г): 1 – заморожена модель; 2 – поліетиленовий короб; 3 – плакований пісок; 4 – чистий сухий пісок; 5 – отвір (живильник) для видалення піску з форми; 6 – робоча порожнина ливарної форми; 7 – ливарна форма (структурований пісок)

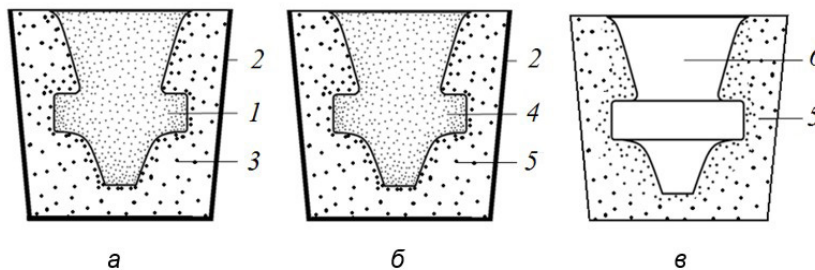


Рис. 6. Схеми (варіант С) розташування замороженої моделі з відкритою поверхнею в поліетиленовому коробі (а), формувальній суміші в коробі на моделі (б), ливарної форми після видалення з неї зернистого матеріалу моделі (в): 1 – заморожена модель; 2 – поліетиленовий короб; 3 – плакований пісок; 4 – чистий сухий пісок; 5 – ливарна форма (структурований пісок); 6 – робоча порожнина ливарної форми

порожнині сформованої ливарної форми залишився сухий пісок 4 від моделі. Надалі (див. рис. 4, г) ливарну форму 5 витягували з короба, а пісок висипали з її робочої порожнини 6.

Різниця отримання ливарної форми за варіантом В від варіанту А полягає в тому, що заморожену модель 1 встановлюють на подушку з плакованого піску в поліетиленовому коробі 2 (див. рис. 5, а), заповнюють плакованим піском простір між моделлю і коробом (див. рис. 5, б). Віброуцільнення і структурування проводять так само, як і в варіанті А. Після структурування форми за ПМЗ-процесом, вирізають отвір 5, який буде надалі служити живильником. Поліетиленовий короб кантують і через отвір видаляють (висипають) чистий сухий пісок 4 (див. рис. 5, в). Після чого ливарна форма (див. рис. 5, г) стає придатною для заливання.

Схеми етапів виконання ливарної форми за моделлю, що контактується з відкритою поверхнею (варіант С), представлено на рис. 6.

Різниця отримання ливарної форми за варіантом С від варіанту В полягає в тому, що заморожену модель 1 встановлюють на подушку з плакованого піску 3 в поліетиленовому коробі 2 та заповнюють плакованим піском простір між моделлю і коробом (див. рис. 6, а). Віброуцільнення і структурування проводять так само, як і в варіанті А. Після структурування форми за ПМЗ-процесом (див. рис. 6, б), поліетиленовий короб кантують і через ливникову воронку видаляють (висипають) чистий сухий пісок 4 (див. рис. 6, в), завдяки чому ливарна форма 5 стає придатною для заливання.

Для оцінки рівня технологічності даного способу, за варіантом В виготовили об'ємно-замкнуту ливарну

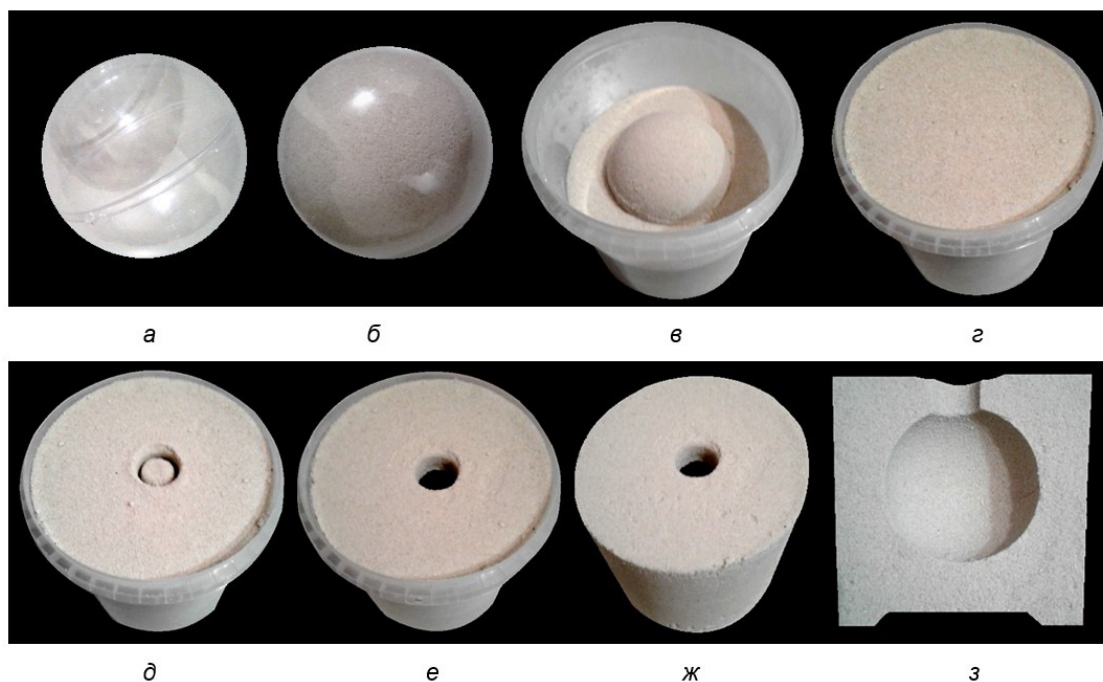


Рис. 7. Вид оснастки і результатів виконання етапів процесу виготовлення об'ємно-замкнутої ливарної форми виливка «Шар» за варіантом В: а – форма (бокс) для виготовлення замороженої моделі; б – суміш піску з водою, ущільнена в формі (боксі); в – наполовину засипана плакованим піском заморожена модель в пластиковій опоці; г – повністю засипана плакованим піском заморожена модель; д – прорізаний ливниковий хід; е – структурована ливарна форма за ПМЗ-процесом; ж – витягнута ливарна форма з пластикової опоки; з – розріз об'ємно-замкнутої ливарної форми

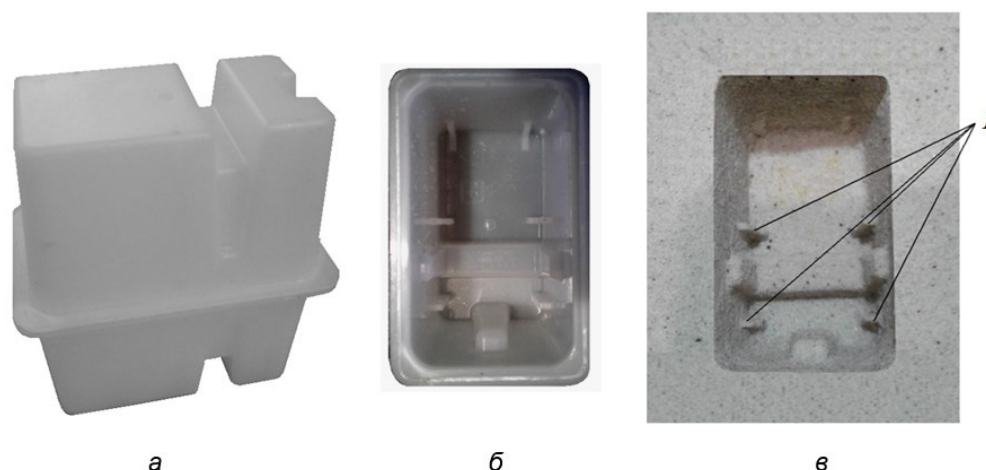


Рис. 8. Вид пластикового боксу в зборі (а), його робочій порожнині (б) і робочій порожнині об'ємно-замкнутої форми (в), виготовленої із замороженої моделі за ПМЗ-процесом: 1 – тонкі ребра в робочій порожнині об'ємно-замкнутої форми

форму для виливка «Шар». Етапи реалізації процесу виготовлення об'ємно-замкнутої ливарної форми для виливка «Шар» за варіантом В представлено на рис. 7.

Відповідно до рис. 7, для виготовлення замороженої моделі виливка, сумішшю піску і води наповнювали пластмасовий бокс Ø60 мм (див. рис. 7, а), яку згодом в боксі ущільнювали вручну (див. рис. 7, б). Наповнений сумішшю бокс заморожували в морозильній камері. Після заморожування з боксу витягували модель виливка (маса моделі склала 300 г), встановлювали шар на плакований кварцовий пісок в пластиковій опоці (див. рис. 7, в) і засипали плакованим кварцовим піском. Після вібраційного ущільнення суміш обробляли мікрохвильовим випромінюванням протягом 7 хвилин (див. рис. 7, г). Після закінчення обробки мікрохвильовим випромінюванням

в структурованій суміші за допомогою тонкостінної труби проточувати ливниковий хід (див. рис. 7, д), через який висипали сухий пісок моделі (див. рис. 7, е). Вид об'ємно-замкнутої форми, отриманої в результаті цього, наведено на рис. 7, ж, а її розріз на рис. 7, з.

Для оцінки технологічних можливостей описуваного способу виготовляли об'ємно-замкнуту форму за моделлю із замороженої піщано-водяної суміші з ребрами невеликої товщини. Вид боксу, використаного для виготовлення замороженої моделі, його робочій порожнині і робочій порожнині об'ємно-замкнутої форми з тонкими елементами 1, товщина яких становила 1,2 мм, представлено на рис. 8.

Обговорення результатів. Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що комбінування ПМЗ-процесу та моделі із замороженої піщано-водяної

суміші дозволяє отримувати складні за конфігурацією об'ємно-замкнуті форми.

При цьому слід зазначити, що для виготовлення замороженої моделі і ливарної форми можна використовувати не тільки кварцовий, але і цирконовий, дистен-силіманітовий, олівіновий, шамотний пісок, для виготовлення коробки – поліетилен, поліпропілен, гіпс тощо. Плакувати формувальну суміш, залежно від температури розплаву, який заливається у форму, можна і іншими водорозчинними сполучними матеріалами, наприклад, полівініловим спиртом, пильвербакелітом та ін.

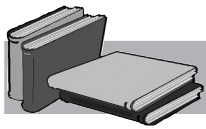
Виготовлені ливарні форми за даним технічним рішенням відразу після виготовлення придатні до використання, оскільки практично не містять вологи і, відповідно, практично не газотвірні. Запропонованим способом можна виготовляти форми будь-якої складності, а їх обмеження за масою і розмірами будуть зумовлені виключно розмірами робочого простору використовуваної морозильної камери та камери мікрохвильового випромінювання.

Висновки

1. В результаті проведених досліджень встановлено, що тривалість випаровування води в полі мікрохвильового випромінювання збільшується з підвищенням маси води, що випаровується, і багато в чому залежить від матеріалу середовища, з якого вона випаровується, та його початкової температури.

2. Для виготовлення об'ємно-замкнутих ливарних форм, заморожені моделі доцільно виготовляти з суміші кварцового піску і 5–10 % води (за масою, понад 100 % піску).

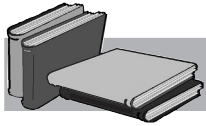
3. Спосіб виготовлення об'ємно-замкнутих форм за замороженими піщано-водяними моделями за ПМЗ-процесом рекомендується для використання у виробництві дрібних виливків зі сплавів на основі заліза, міді, алюмінію загальномашинобудівного призначення в умовах одиничного і дрібносерійного виробництва литва.



ЛІТЕРАТУРА

1. А. с. 428843 СССР, МК В22С9/00. Способ изготовления литейных форм замораживанием / В.М. Грузман, Е.Я. Синицын, В.Н. Михеев, В.А. Антипов, В.К. Кадочников. № 1606788/22-2; заявл. 04.01.71; опубл. 25.05.74, Бюл. № 19.
2. А. с. 1171186 СССР, МК В22С9/04, 9/00. Способ изготовления неразъемных литейных форм / О.И. Шинский, В.И. Московка, В.А. Шевченко, А.И. Валигура, Е.Ф. Князев, М.Т. Левчук. № 3631979/22-02; заявл. 03.06.83; опубл. 07.08.85, Бюл. № 29.
3. А. с. 982840 СССР, МК В22С9/02. Способ получения форм вакуумной формовкой и устройство для его осуществления / В.Р. Закрочимский, Г.В. Немченко, А.М. Петриченко, А.Г. Мирошниченко. № 3312085/22-02; заявл. 07.07.81; опубл. 23.12.82, Бюл. № 47.
4. Пат. 76132 Україна, МПК В22С 9/02. Спосіб лиття за крижаними моделями / О.Й. Шинський, В.С. Дорошенко; № u201206798; заявл. 05.06.2012; опубл. 25.12.2012, Бюл. № 24.
5. Пат. 80509 Україна, МПК В22С 9/04, 9/12, 7/02, 1/16. Спосіб виготовлення оболонкової форми по легкоплавкій моделі / В.С. Дорошенко, О.Й. Шинський, А.О. Стрюченко; № a201003761; заявл. 01.04.2010; опубл. 10.06.2013, Бюл. № 11.
6. Пат. 91197 Україна, МПК В22С 9/02. Спосіб фільтраційного формування / О.Й. Шинський, В.С. Дорошенко; № u201400637; заявл. 23.01.2014; опубл. 25.06.2014, Бюл. № 12.
7. Пат. 85830 Україна, МПК В22С 9/02. Спосіб виготовлення ливарної форми по крижаній моделі / В.С. Дорошенко, О.Й. Шинський; № a201008732; заявл. 13.07.2010; опубл. 10.12.2013, Бюл. № 23.
8. Пат. 85515 Україна, МПК В22С 9/02. Спосіб виготовлення вакуумованої форми / О.Й. Шинський, В.С. Дорошенко; № a200702367; заявл. 05.03.2007; опубл. 26.01.2009, Бюл. № 2.
9. Дорошенко В.С. Структура исследований по разработке технологии литья по ледяным моделям с использованием ряда особенностей и природных явлений. *Процессы литья*. 2017. № 1 (121). С. 39–46.
10. Гаврилин И.В. Литье по ледяным моделям. *Литейное производство*. 1994. № 9. С. 14–15.
11. Грузман В.М. Теория и технология литья в замороженные формы: дис. ... д-ра техн. наук; Уральский гос. техн. ун-т. Екатеринбург: УПИ. 1993.
12. Грузман В.М. О судьбе и перспективах применения замороженных форм. *Литейное производство*. 2009. № 7. С. 14–17.
13. Дорошенко В.С. Исследования при разработке экологически безопасной технологии литья металла по ледяным моделям с использованием природных явлений. *Экологический вестник России*. 2018. № 2. С. 42–47.
14. Грузман В.М. Литье в замороженные формы: Обзор. М.: НИИмаш, 1983. 40 с.
15. Грузман В.М. Взаимодействие расплава с замороженной формой. *Литейное производство*. 1982. № 7. С. 20–21.

Надійшла 22.11.2020



REFERENCES

1. A. s. 428843 USSR, MK B22C9/00. Method of making casting molds by freezing, V.M. Gruzman, E.Ya. Sinitsyn, V.N. Mikheev, V.A. Antipov, V.K. Kadochnikov, no. 1606788/22-2; declared 01/04/71; publ. 05/25/74, Bul. no. 19 [in Russian].
2. A. s. 1171186 USSR, MK B22C9/04, 9/00. Method of manufacturing one-piece casting molds, O.I. Shynskiy, V.I. Moskovka, V.A. Shevchenko, A.I. Valigura, E.F. Knyazev, M.T. Levchuk, no. 3631979/22-02; declared 06/03/83; publ. 08/07/85, Bul. no. 29 [in Russian].
3. A. s. 982840 USSR, MK B22C9/02. A method of obtaining forms by vacuum forming and a device for its implementation, V.R. Zakrochimsky, G.V. Nemchenko, A.M. Petrichenko, A.G. Miroshnichenko, no. 3312085/22-02; declared 07.07.81; publ. 12/23/82, Bul. no. 47 [in Russian].
4. Pat. 76132 Ukraine; IPC B22C 9/02. Method of ice-mould freeze casting, Shynskiy, O.Y., Doroshenko, V.S., no. u201206798; declared 05.06.2012; publ. 25.12.2012, Bul. no. 24 [in Ukrainian].
5. Pat. 80509 Ukraine; IPC B22C 9/04, 9/12, 7/02, 1/16. Method for manufacturing shell mold using low-melting patterns, Doroshenko, V.S., Shynskiy, O.Y., Striuchenko, A.O., no. a201003761; declared 01.04.2010; publ. 10.06.2013, Bul. no. 11 [in Ukrainian].
6. Pat. 91197 Ukraine; IPC B22C 9/02. Method of filtration molding, Shynskiy, O.Y., Doroshenko, V.S., no. u201400637; declared 23.01.2014; publ. 25.06.2014, Bul. no. 12 [in Ukrainian].
7. Pat. 85830 Ukraine; IPC B22C 9/02. Method of manufacturing mold with ice pattern, Doroshenko, V.S., Shynskiy, O.Y., no. a201008732; declared 13.07.2010; publ. 10.12.2013, Bul. no. 23 [in Ukrainian].
8. Pat. 85515 Ukraine; IPC B22C 9/02. Method of producing degasified form, Shynskiy, O.Y., Doroshenko, V.S., no. a200702367; declared 05.03.2007; publ. 26.01.2009, Bul. no. 2 [in Ukrainian].
9. Doroshenko, V.S. (2017). The structure of research on the development of casting technology for ice patterns using a number of features and natural phenomena. *Casting processes*, no. 1 (121), pp. 39–46 [in Russian].
10. Gavrilin, I.V. (1994). Casting on ice models. *Foundry*, no. 9, pp. 14–15 [in Russian].
11. Gruzman, V.M. (1993). Theory and technology of casting in frozen forms. Doctor's thesis. Ural state tech. un-t. Ekaterinburg: UPI [in Russian].
12. Gruzman, V.M. (2009). On the fate and prospects of using frozen forms. *Foundry*, no. 7, pp. 14–17 [in Russian].
13. Doroshenko, V.S. (2018). Research in the development of an environmentally safe technology for casting metal using ice patterns using natural phenomena. *Ecological Bulletin of Russia*, no. 2, pp. 42–47 [in Russian].
14. Gruzman, V.M. (1983). Casting in frozen forms: Review. Moscow: NIIMash, 40 p. [in Russian].
15. Gruzman, V.M. (1982). Interaction of the melt with the frozen form. *Foundry*, no. 7, pp. 20–21 [in Russian].

Received 22.11.2020

Summary

L.I. Solonenko¹, PhD (Engin.), Associate Professor at the Department of Technology and Management of Foundry Processes,
e-mail: solonenkoli14@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2029-8044>
S.I. Repyakh², Dr. Sci. (Engin.), Professor at the Department of Foundry,
e-mail: 123rs@ua.fm, <https://orcid.org/0000-0003-0203-4135>

¹Odessa National Polytechnic University (Odessa, Ukraine)

²National Metallurgical Academy of Ukraine (Dnipro, Ukraine)

Manufacture of foundry forms by steam-microwave hardening by models from frozen sand-water mixtures

The article investigates the possibility of using (combining) a frozen sand-water model, which is a source of steam when heated, and steam-microwave curing to obtain complex configurations of volume-closed forms, as well as the influence of mass water content in the sand-water model on the surface quality of the obtained three-dimensional closed molds.

The studies used quartz sand brand 1K₂O₂02, distilled water, sodium liquid glass with a silicate modulus of 2.8–3.0 and a specific gravity of 1.43–1.46 g/cm³, clad quartz sand 1 % liquid glass (by weight, more than 100 % sand) dried in air and in the field of microwave radiation. The temperature was measured with a precise thermometer Greisinger G 1700 with an accuracy of 1 °C,

weighing was performed on electronic scales brand MH200 with an accuracy of 0.01 g. Form structuring, drying of clad sand, heating of weighed portions of water, a mixture of water and sand, frozen portions of a mixture of water and sand were carried out in a microwave oven with a nominal magnetron power of 900 W and a radiation frequency of 2.45 GHz.

The analysis of the obtained results shows that the combination of steam-microwave curing and the model of frozen sand-water mixture allows to obtain complex configurations of volume-closed forms. Manufactured molds according to this technical solution immediately after manufacture are suitable for use because they contain virtually no moisture and, accordingly, virtually no gas. The proposed method can produce molds of any complexity, and their limitations in weight and size will be due solely to the size of the working space of the used freezer and microwave.

It is established that the duration of water evaporation in the field of microwave radiation increases with increasing mass of water that evaporates, and largely depends on the material of the medium from which it evaporates and its initial temperature. For the manufacture of volume-closed forms, frozen models should be made from a mixture of quartz sand and 5–10 % of water (by weight, over 100 % sand). The proposed method of manufacturing three-dimensional closed molds is quite technological and can be recommended for the production of small castings from alloys based on iron, copper, aluminum for general engineering purposes in terms of single and small-scale production of castings.

Keywords

Mold, sand-liquid glass mixture, steam-microwave curing, frozen model, liquid glass, sand, water.