

О.Й. Шинський, д-р техн. наук, проф., зав. відділу, e-mail: aluprt@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-6200-0709>

І.А. Шалевська, д-р техн. наук, доц., заст. зав. відділу, e-mail: innashalevska@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8410-7045>

В.С. Дорошенко, д-р техн. наук, ст. наук. співр., пров. наук. співр., e-mail: doro55v@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0070-5663>

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України (Київ, Україна)

Комплектація цеху лиття металу за моделями, що газифікуються, сучасним 3D-технологічним обладнанням

Виконано короткий огляд типових планувань цехів лиття за моделями, що газифікуються (ЛГМ). За наведеними прикладами планувань цехів видно, що за комплектацією цех ЛГМ за разовими моделями є не складнішим за цехи лиття металу за постійними (дерев'яними чи металевими) моделями для випуску виливків як складної, так і простої геометрії. Традиційно цеху ЛГМ властивий модульний склад обладнання і можливість різних варіантів розташування деяких його дільниць, зокрема модельної та дільниці охолодження і очищення (регенерації) піску, які можуть розміщувати поза основним приміщенням ливарного цеху, що сприяє зниженню капіталоемності виробництва. План цеху ЛГМ рекомендовано доповнити, визначити на плані місця і вказати обладнання 3D-друку моделей. Розроблено спосіб лиття металу з газифікацією у ливарній формі друкованої моделі з попереднім зниженням маси цієї моделі шляхом фрезерування її серцевини. Варіант реалізації цього способу описано на прикладі моделі лопатки турбіни. Запропоновано комплектацію дільниці з парним застосуванням 3D-принтера і 3D-фрезера для виготовлення вакуумованих піщаних форм за друківаними і частково фрезерованими моделями, а також показано схеми автоматизованих дільниць з установками 3D-друку. ЛГМ-процес у формах з сухого піску за друківаними моделями значно вигідніше за лиття способом типу «QuickCast» за друківаними моделями, що випаляються в печах з оболонкових керамічних форм. Показано ескіз дільниці з парним застосуванням 3D-принтера і 3D-фрезера для виготовлення ливарних форм з сухого піску за друківаними полегшеними моделями, що газифікуються у таких ливарних формах. Застосування 3D-технологій зміцнить ланцюжок створення вартості ливарною промисловістю, забезпечить конкурентоспроможність ливарних матеріалів з адаптацією методів виробництва відповідно до замовлень і сприятиме цифровій інтелектуалізації обладнання та процесів.

Ключові слова: 3D-технології; 3D-друк; лиття за моделями, що газифікуються; вакуумно-плівкова формовка; разова модель; ливарний цех.

В сучасному світі триває гонка наукоємних технологій і освіти. В технології проникає цифровізація, що надає їм кіберфізичні риси згідно з прогнозованою Четвертою промисловою революцією «Індустрія 4.0», а для ливарного виробництва цифрову інтелектуалізацію обладнання та процесів часто називають «Foundry 4.0» [1]. Серед ливарних технологій ЛГМ – лиття металу за моделями, що газифікуються, чи не найбільш сприятлива до цифровізації та автоматизації виробництва технологія. Крім того, вона ще не вичерпала свого потенціалу до створення різновидів в плані підвищення гнучкості щодо випуску дрібносерійної, разової (зокрема кастомізованої) продукції (для швидкого реагування на потреби ринку), а

також в плані екологізації з наближенням до природо-подібних технологій, що не шкодять довкіллю.

Тема статті полягає в огляді планувань типових цехів ЛГМ і відображенні в плануванні цеху ЛГМ деяких нових технологічних рішень, зокрема, що відносяться до 3D-технологій. Також на наведених нижче прикладах видно, що за комплектацією цех ЛГМ за разовими моделями з пінополістиролу (ППС) є не складнішим за цехи лиття металу за постійними (дерев'яними чи металевими) моделями для випуску виливків як складної, так і простої геометрії. Традиційно цеху ЛГМ властивий модульний склад обладнання [2–4] і можливість різних варіантів розташування деяких його дільниць, зокрема модельної та дільниці охоло-

дження і очищення (регенерації) оборотного піску, які можуть розміщувати поза основним приміщенням ливарного цеху, що сприяє зниженню капіталоємності виробництва.

Одну з типових комплектацій передусім вітчизняним обладнанням цеху ЛГМ показано на рис. 1. Основне обладнання на плавильній, заливально-охолоджувальній і формувальній дільницях функціонує наступним чином. Замкнутий рольганговий конвеєр 3 з чотирма поворотними столами 1 транспортує контейнерні ливарні піщані форми 2. Вони заливуються металом від індукційних печей (не показані), що межують з плацом 4, або від печі 9. Печі та інше обладнання охолоджується водою з баку 5. Після охолодження виливків на конвеєрі 3 чи на плаці 4 їх вибивають з форм шляхом висипання сухого піску на решітці 6 з наступним поданням його пневмотранспортом за межі цеху на дільницю охолодження і складування піску (не показана), яка змонтована вздовж зовнішньої сторони стіни цеху та з якої оборотний пісок по похилому трубопроводу 7 засипають в контейнер з моделлю (що виготовлена з ППС) на формувальному вібростолі, який розташований під висипним отвором трубопроводу 7. При заливанні металу та протягом твердіння і охолодження виливків контейнерні піщані форми вакуумують за допомогою системи 8 з вакуумними насосами і обладнанням для очищення газів.

Таким чином, на рис. 1 показано приклад цеху ЛГМ, в капітальній споруді якого виконують операції формовки, плавки, заливки, охолодження і вибивки виливків та їх обрубку-очистки, дільницю регенерації сухого піску винесено на пристінну естакаду з зовнішньої сторони цеху за територію капітальної будови цеху, а модельну дільницю – до прибудованих приміщень другого і вище поверхів.

На другому прикладі показано схему ливарного цеху крупносерійного лиття на основі напівавтоматичної лінії ЛГМ (рис. 2) [5], що охоплює всі виробничі

дільниці, які розташовані на одному рівні. Докладно показано обладнання для виготовлення моделей.

Лінія ЛГМ (рис. 2) функціонує таким чином, що гранули полістиролу проходять установку-класифікатор 1, підспінювач 2, бункер для накопичення та витримки 3 і на автоматах 4 отримують спіканням гранул ППС деталі моделей, які комплектують на столі 5. Конвеєрами 6, 8, 10, 14, 17, 19 вантажі рухаються по цеху. Модельні блоки склеюють на напівавтоматах 7 та автоматах 9, потім ці блоки фарбують в камері 11 та сушать в камері 12. Маніпуляторами перевантажують: 13 – моделі, 20 – форми при вибивці виливків, 21 – виливки на очистку-обрубку. На формувальних столах 15 виготовляють ливарні форми, для чого подають пісок з лінії 18, на якій його охолоджують і очищують.

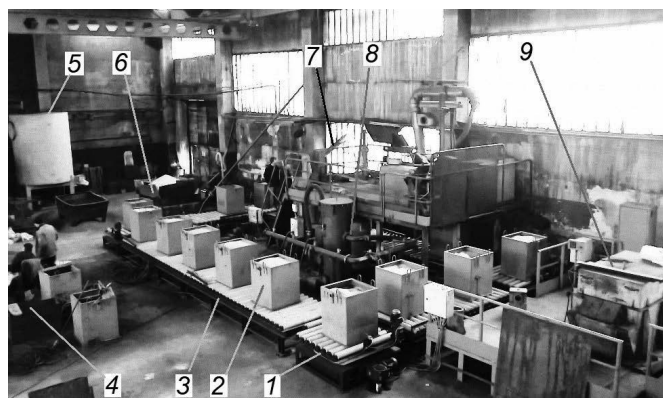


Рис. 1. Дослідно-промисловий цех ЛГМ Фізико-технологічного інституту металів та сплавів НАН України (ФТІМС НАН України): 1 – поворотний стіл рольгангу; 2 – контейнерна ливарна форма; 3 – ділянка конвеєра для заливання форм і охолодження виливків; 4 – плац для заливання форм поруч з індукційними печами; 5 – бак для оборотної води; 6 – висипна решітка; 7 – трубопровід подачі піску на формовку; 8 – система очищення газів з вакуумними насосами; 9 – плавильно-роздаткова піч для алюмінієвих сплавів

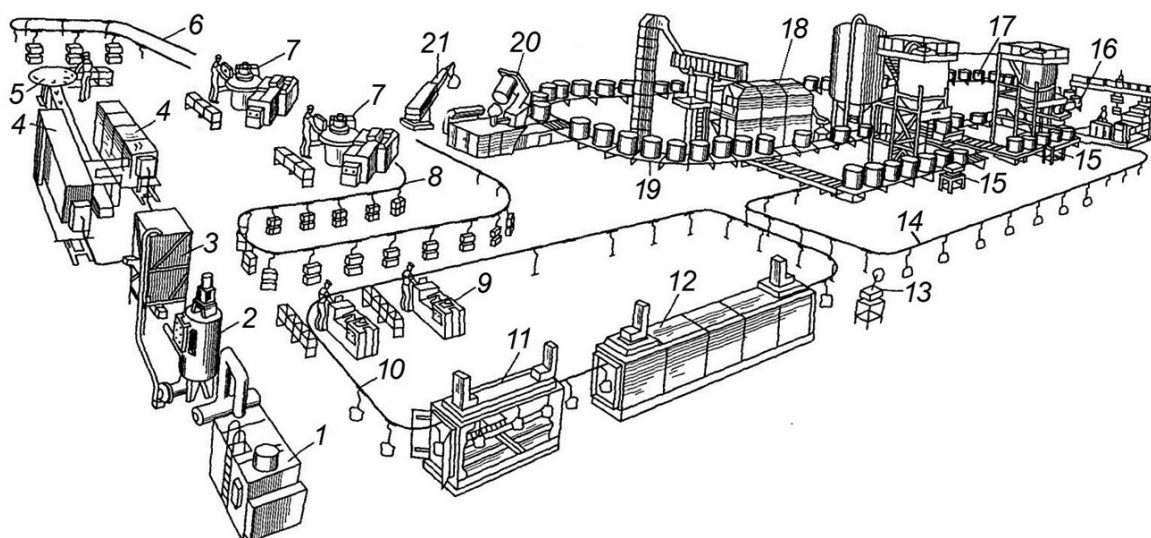


Рис. 2. Схема напівавтоматичної лінії ЛГМ: 1 – установка-класифікатор гранул полістиролу; 2 – підспінювач; 3 – бункер для витримки гранул ППС; 4 – автомат-спінювачі; 5 – стіл комплектації; 6, 8, 10, 14, 17, 19 – конвеєри; 7 – напівавтомати склеювання модельних блоків; 9 – автомат складання моделей у блоки; 11 – камера фарбування моделей; 12 – камера сушіння моделей; 13, 20, 21 – маніпулятори; 15 – формувальні столи; 16 – дільниця заливання; 18 – лінія охолодження піску



Рис. 3. Схема комплектації основним обладнанням модельної дільниці для ЛГМ: 1 – установка для підспіювання гранульованого полістиролу, що має 2 – водно-парову ванну і 3 – автоклав; 4 – накопичувальні бункери; 5 – стелд для складання-розкладання прес-форм; 6 – пристрій для задування ППС в 7 – прес-форми; 8 – автоклав; 9 – ванна з холодною водою; 10 – модель; 11 – стелаж; 12 – стіл; 13 – пристрій для фарбування; 14 – сушильна камера; 15 – універсальний складальний стелд; 16 – 3D-фрезер; 17 – складальний стелд; 18 – 3D-принтер

Докладніше розглянемо схему комплектації основним обладнанням модельної дільниці (рис. 3) [2, 4] для дрібносерійного виготовлення виливків в цехах ЛГМ такого типу, як показано на рис. 1.

Модельна дільниця (рис. 3) [2, 4] комплектується таким чином. До неї входить установка для підспіювання гранульованого полістиролу 1, яка містить герметичну воднопарову ванну 2 з вентилятором та автоклавом 3. Підспінені гранули ППС подають в накопичувальні бункери 4, в яких проходить сушіння і активація ППС протягом 12...24 годин. Після вилежування ППС подається на стелд 5 для складання-розкладання прес-форм, на якому пристроєм 6 виконується задування ППС в порожнину прес-форми 7, котра з ППС далі поміщається в камеру автоклава 8, де ППС спікається в середовищі перегрітого пару. Після спікання ППС прес-форма 7 з моделлю (піномоделлю) всередині поміщається в ванну 9 з холодною проточною водою, а після охолодження прес-форму 7 розбирають і видаляють з неї готову модель 10. Такі моделі 10 розміщують на стелажі 11, де проходить їх сушіння та вилежування, після чого на столах 12 вирізають ливникові системи, монтують їх з дрібними моделями чи прикладають до крупних і пристроєм 13 моделі 10 фарбують протипригарним покриттям. Після стікання надлишку цього покриття з моделей 10 їх сушать в сушильних камерах 14. Для виготовлення одинарних, фігурних, унікальних моделей та елементів ливникових систем, склеювання моделей з ливниковою системою призначені універсальний складальний стелд 15 та трикоординатний (3D) фрезерний верстат 16 з програмним управлінням. В схемі обладнання цеху чи комплексу ЛГМ [2], зокрема щодо планування модельної дільниці (рис. 3), нами виконано деяке осучаснення з огляду впровадження у виробничу практику 3D-технологій. Додатково запропоновано встановлення 3D-принтера 18 для адитивного виготовлення полімерних моделей чи їх деталей і складання їх на стелді 17.

Для моделей складного профілю (типу лопаток турбін), які можна друкувати з двох половинок, розроблено новий спосіб виготовлення моделей для ЛГМ, як вирішення задачі отримання друкованої моделі мінімальної маси, за вагою на одиницю об'єму, що наближається чи не перевершує типові моделі з ППС [6]. Технічне рішення полягає в наступному [7]. На 3D-принтері друкують половину моделі лопатки

(в повздовжньому розрізі) з гладкою (вищої чистоти, ніж для моделі з ППС) поверхнею. Якщо видалити з пів-моделі характерні для 3D-друку внутрішні підпірки (серцевину, каркас), то оболонка може покоробитись при виготовленні піщаної форми, що дасть брак литва. Тому друковану пів-модель пропонується формувати на модельній плиті сухим піском за методом вакуумно-плівкової формовки (ВПФ) в рамковій опці з фільтрами для вакуумування. Перед формовкою поверхню моделі фарбують покриттям, що швидко сохне. Так отримують півформу (з пів-моделлю), плоскі піщані лад і контрлад якої покриті синтетичною плівкою.

В лабораторному варіанті підпірки оболонки моделі з невисокою точністю можна видалити за допомогою фрези діаметром 8–10 мм, наприклад, вставленої в цанговий затиск ручного компактного електрогравера, або це виконати нагрітим лезом електропаяльника чи термоножа. В промисловому варіанті пропонується перенести (на плиті) півформу на стіл 3D-фрезера з відповідним позиціонуванням і закріпленням півформи до його стола, підключити до неї вакуум і видалити підпірки (серцевину) моделі фрезою 3D-фрезера за комп'ютерною програмою, аналогічною для 3D-принтера, що друкував цю пів-модель. При цьому обробкою на 3D-фрезері можна отримати оболонку моделі (тонше 1,0–1,5 мм), функція якої полягає в герметизації вакуумованої форми (подібно плівці). Отримання тонкої оболонкової моделі малої маси зменшило б відомі раніше перешкоди застосування друкованих моделей для ЛГМ – високі зольність і газотвірність від цільної друкованої моделі [6] і відкрило шлях 3D-друку моделей для ЛГМ.

Переносити з місця формовки до 3D-фрезера і на інші відстані на плиті півформи ладом доверху слід плавно з вакуумуванням від акумуляторного насоса типу пілососа, рівня вакууму якого достатньо для утримання непорушним пісок півформи з пів-моделлю. А при 3D-друку моделей розплав філаменту можна наносити на полотно синтетичної плівки, яка герметично склеювалась би з друкованою моделлю, а потім покривала б лад піщаної півформи. По суті, описаний спосіб є перетворення ЛГМ у ВПФ у такій послідовності: формовка – ВПФ по разовій пластиковій пів-моделі; вакуумування; видалення серцевини – отримання оболонки, яка покриває робочу (ливарну) порожнину півформи. Збирання форми з двох аналогічно виготовлених півформ (до-

датково виконавши ливниково-живильну систему, зокрема за моделями з ППС) дасть отримання форми методом ВПФ з робочою порожниною, облицьованою оболонками пів-моделей, що міцно присмоктані до піску вакуумованої форми. Скріплений за допомогою вакууму пісок для оболонок моделі стає несучою непорушною опорою, яку раніше виконували для них видалені 3D-фрезером серцевини, що при формовці опирались на модельну плиту.

Виливки за такою друкованою моделлю в формі з сухого піску є значно дешевшими за застосовуваний за кордоном процес типу «QuickCast» за друкованими моделями, що випаляються в печах з багатшарових керамічних форм, які виготовляють подібно до лиття за моделями, що витоплюються. Технологія QuickCast запатентована компанією 3D Systems (<https://www.3dsystems.com>) і полягає у створенні на поверхні друкованої моделі багатшарової оболонкової форми, що повинна пройти процес кількарізного сушіння нанесених прошарків і прожарювання без утворення тріщин [8]. Виготовлення оболонкової форми триває близько кількох днів з застосуванням спеціальних недешевих матеріалів і ступінчастих режимів нагрівання.

Таким чином, розроблено спосіб ВПФ за друкованою разовою моделлю, яку «перетворюють» в оболонкову і товщиною якої регулюють кількість газів при ЛГМ. Також наявністю для ВПФ випорів можливо регулювання виводу надлишків газу за межі форми (чи притоку газу) крізь них при газифікації металом оболонкової моделі [7].

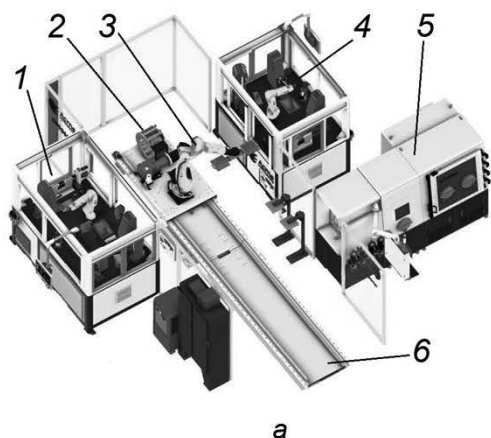
Для способу «3D-друк-фрез ВПФ» запропоновано варіант дільниці парного застосування 3D-принтера і 3D-фрезера (рис. 4, а).

За аналог ескізної пропозиції (рис. 4, а) взято зображення дільниці компанії Optomec Inc. для автоматизованого ремонту лопаток турбін [9], де в одній камері виконують 3D-наплавку лопаток, в другій – їх фінішну обробку, а між ними функціонує автоматизована вантажна транспортна платформа. В нашому проєкті у камері 1 (рис. 4, а) пропонується виконання

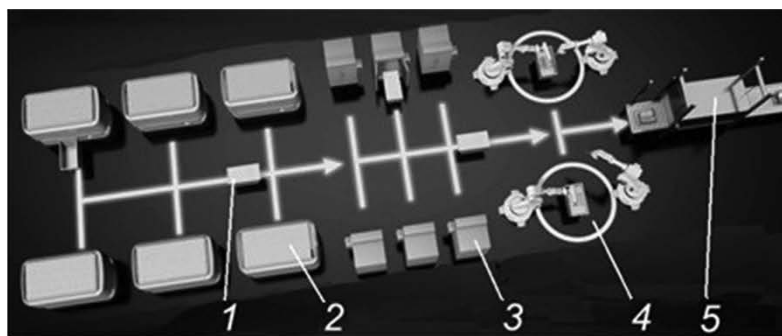
3D-друку пів-моделі і по ній виготовлення методом ВПФ півформи (включно з елементами ливникової системи), яку вакуумують насосом 2 і передають маніпулятором 3 (на рухомій платформі) до камери 4, де фрезерують серцевину моделі, що заформована в півформі, яку вакуумують зі стаціонарної вакуумної станції 5, та з неї ж розводять трубопроводом вакуум по обом камерам. З камери 4 півформу передають маніпулятором 3 по колії 6 на формувальну дільницю для збирання форм і наступним заливанням їх металом як у цеху типу (рис. 1) чи на традиційних дільницях ВПФ. Якщо до камери 1 додатково підвести подачу сухого піску для формовки півформ, аналогічно, наприклад, як це виконано трубопроводом 7 (рис. 1) і встановити формувальний стіл, то отримаємо можливість виготовлення півформ способом ВПФ.

Все більше компаній світу, що користуються 3D-друком, планують створення автоматизованих дільниць на його основі. Прикладом є показана на сайті компанії ExOne (www.exone.com) схема автоматизованої дільниці 3D-друку (рис. 4, б) з застосуванням автоматично рухомих транспортних засобів 1, які транспортують друковані вироби по всьому технологічному шляху: від установок друку 2 до печей 3 (для спікання металовиробів або сушки ливарних форм) та роботів 4 складання, а також до печей 5 остаточного спікання чи синтезування (якщо це готові металеві чи композитні вироби), або до видачі зібраних форм на ливарну дільницю (якщо це піщані друковані ливарні форми для заливання в їх розплавом металу). Останні приклади (рис. 4) показують варіанти проєктування автоматизованих дільниць з 3D-технологіями як для друку разових полімерних моделей, так і для друку ливарних піщаних форм зі зв'язувальним компонентом з наступним їх застосуванням для лиття металу. Поширення автоматизованих дільниць з 3D-технологіями прогнозується для ливарного виробництва в майбутньому, що відобразиться в проєктах ливарних цехів.

Швидкий 3D-друк моделей і отримання по них металевих виливків методом ЛГМ з притаманної цій



а



б

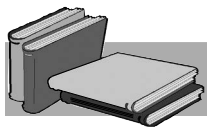
Рис. 4. Ескіз дільниці для 3D-друку моделей і видалення «надлишків» друку – а: 1 – камера для 3D-друку пів-моделі і виготовлення по ній півформи; 2 – вакуумний насос; 3 – маніпулятор; 4 – камера для фрезерування моделі; 5 – вакуумна станція; 6 – колія; а також схема автоматизованої дільниці 3D-друку компанії ExOne – б: 1 – транспортні засоби; 2 – установка друку; 3 – піч; 4 – робот для складання; 5 – піч фінальна

технології досить короткотривалої операції формовки в сипкому піску наближає ливарне виробництво до принципу «лиття металовиробу як послуга». На сайтах окремих компаній замовник вже може розмістити онлайн зображення свого металовиробу, а комп'ютерна програма в демонстраційному режимі може показати оптимізовані варіанти конструкції виливка, рекомендації по матеріалу, витратам, часу виготовлення залежно від серійності.

Висновки

В результаті аналізу планувань цехів ЛГМ запропоновано їх проєкти доповнювати обладнанням 3D-друку моделей. Це прискорить і зміцнить ланцюжок створення вартості ливарною промисловістю, за-

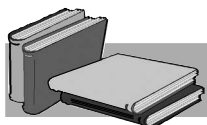
безпечить конкурентоспроможність ливарних матеріалів з адаптацією методів виробництва відповідно до замовлень і сприятиме цифровій інтелектуалізації обладнання та процесів. Створений спосіб «полегшення» газифікації у ливарній формі друкованої полімерної моделі зі зменшенням її маси шляхом видалення її серцевини за допомогою 3D-фрезера сприятиме застосуванню ЛГМ у формах з сухого піску за друкованими моделями, що значно вигідніше за лиття способом типу «QuickCast» за друкованими моделями, що випаляються в печах з оболонкових керамічних форм. Показано ескізний варіант дільниці з парним застосуванням 3D-принтера і 3D-фрезера для виготовлення вакуумованих ливарних форм з сухого піску за друкованими і фрезерованими моделями, що газифікуються у таких ливарних формах.



ЛІТЕРАТУРА

1. Foundry 4.0 Using FRP-Driving the Digital Transformation. *Foundry Review*. 2017. No. 7. P. 4–5.
2. Ливарний комплекс для виготовлення виливків за моделями, що газифікуються: пат. 45814 Україна. МПК B22D 27/00, B22D 47/00. Опубл. 25.11.2009. Бюл. № 22.
3. Бердыев К.Х., Дорошенко В.С., Шинский И.О. Структура цеха литья по газифицируемым моделям и особенности его проектирования. *Металл и литье Украины*. 2010. № 4. С. 8–16.
4. Ливарний комплекс для виготовлення виливків з високоміцного чавуну у ливарних контейнерах з сипким піском: пат. 140588 Україна. МПК B22D 7/00, B22D 47/00. Опубл. 10.03.2020. Бюл. № 5.
5. Гини Э.Ч., Зарубин А.М., Рыбкин В.А. Технология литейного производства: Специальные виды литья; под ред. В.А. Рыбкина. Москва: Изд. центр «Академия», 2007. 352 с.
6. Шинський О.Й., Михнян О.В., Нейма О.В., Дорошенко В.С. Адаптація процесу адитивного виготовлення моделей для газифікації їх в піщаній формі при заливанні металу, а також для утилізації відходів пінополістиролу. *Процеси лиття*. 2022. № 4. С. 42–50. DOI: <https://doi.org/10.15407/plit2022.04.042>
7. Дорошенко В.С. Михнян О.В., Калужний П.Б., Нейма О.В. Методи поєднання вакуумно-плівкової формовки з литтям за друкованими моделями, що газифікуються. *Процеси лиття*. 2022. № 3. С. 27–33. DOI: <https://doi.org/10.15407/plit2022.03.027>
8. 3D Printing for Investment Casting. URL: <https://www.uniontech3d.com/3d-printing-investment-casting.html>
9. Optomec and Acme Manufacturing Showcase the Industry's First Fully Automated Work Cell for the Additive Repair of Turbine Parts. Sept. 15th, 2022. URL: <http://optomec.com/press-coverage/>

Надійшла 31.01.2023



REFERENCES

1. Foundry 4.0 Using FRP-Driving the Digital Transformation. *Foundry Review*. 2017, no. 7, pp. 4–5.
2. Pat. 45814 UA, IPC B22D 27/00, B22D 47/00, Foundry facility for producing castings by Lost Foam Casting, Shynskiy, I.O., Shynskiy, O.Y., Karychkovskiy, P.M., Boliukh, V.A. Publ. 25.11.2009. Bul. No. 22 [in Ukrainian].
3. Berdyev, K.Kh., Doroshenko, V.S., Shynskiy, I.O. (2010). The structure of the casting shop for gasified models and the features of its design. *Metal and Casting of Ukraine*, no. 4, pp. 8–16 [in Russian].
4. Pat. 140588 UA, IPC B22D 7/00, B22D 47/00, Foundry complex for the production of castings from high-strength cast iron in foundry containers with loose sand, Doroshenko, V.S., Shynskiy, V.O., Publ. 10.03.2020. Bul. No. 5 [in Ukrainian].
5. Gini, E.Ch., Zarubin, A.M., Rybkin, V.A. (2007). Technology of foundry production: Special types of casting. Ed. by Rybkin V.A. Moscow: Publ. center "Academy", 352 p. [in Russian].

6. Shynskyi, O.Y., Mikhnyan, O.V., Neima, O.V., Doroshenko, V.S. (2022). Adaptation of the process of additive production of patterns for their gasification in sand form during metal pouring, as well as for the disposal of polystyrene foam waste. *Casting processes*, no. 4, pp. 42–50, doi: <https://doi.org/10.15407/plit2022.04.042> [in Ukrainian].
7. Doroshenko, V.S., Mikhnyan, O.V., Kaliuzhnyi, P.B., Neima, O.V. (2022). Methods of combining v-process with Lost Foam Casting process on gasified printed patterns. *Casting processes*, no. 3, pp. 27–33, doi: <https://doi.org/10.15407/plit2022.03.027> [in Ukrainian].
8. 3D Printing for Investment Casting. URL: <https://www.uniontech3d.com/3d-printing-investment-casting.html>
9. Optomec and Acme Manufacturing Showcase the Industry's First Fully Automated Work Cell for the Additive Repair of Turbine Parts. Sept. 15th, 2022. URL: <http://optomec.com/press-coverage/>

Received 31.01.2023

Summary

O.Y. Shinsky, Dr. Sci. (Engin.), Professor, Head of the Department,
e-mail: aluprt@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-6200-0709>

I.A. Shalevska, Dr. Sci. (Engin.), Docent, Deputy Head of Department,
e-mail: innashalevska@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8410-7045>

V.S. Doroshenko, Dr. Sci. (Engin.), Senior Research Scientist, Leading
Researcher, e-mail: doro55v@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0002-0070-5663>

*Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine
(Kyiv, Ukraine)*

Complete set with modern 3D technological equipment of the foundry using the Lost Foam Casting process

A brief overview of typical layouts of Lost Foam Casting (LFC) foundries was made. According to the given examples of shop layouts, it can be seen that in terms of equipment, the LFS shop based on one-off patterns is no more complex than metal casting shops based on permanent (wooden or metal) patterns for the production of castings of both complex and simple geometry. Traditionally, the LFC shop is characterized by a modular composition of equipment and the possibility of various options for the location of some of its sections, in particular, the pattern section and the sand cooling and cleaning (regeneration) section, which can be located outside the main premises of the foundry shop, which contributes to reducing the capital intensity of production. It is recommended to supplement the plan of the LFC workshop, to determine the locations on the plan and to indicate the equipment for 3D printing of patterns. A method of metal casting with gasification in a foundry mold of a printed pattern with preliminary weight reduction of this pattern by milling its core has been developed. The implementation option of this method is described on the example of a pattern of a turbine blade. It is proposed to equip the station with the combined use of a 3D printer and a 3D milling machine for the manufacture of vacuum sand molds according to printed and partially milled patterns, and it is also shown the schemes of automated stations with 3D printing installations. The LFC process in dry-sand molds from printed patterns is significantly more profitable than QuickCast-type casting from printed patterns fired in kilns from shell ceramic molds. A sketch of the site with the combined use of a 3D printer and a 3D milling machine for the manufacture of dry sand casting molds based on printed lightweight gasified patterns in such casting molds is shown. The application of 3D technologies will strengthen the value chain of the foundry industry, ensure the competitiveness of foundry materials with the adaptation of production methods according to orders, and contribute to the digital intellectualization of equipment and processes.

Keywords

3D technologies; 3D printing; Lost Foam Casting; metal casting according to gasified patterns; vacuum film molding; disposable pattern; foundry.