

<https://doi.org/10.15407/plit2024.03.059>

УДК 621.74.045

В.С. Дорошенко, доктор техн. наук, пров. наук. співроб.,;

e-mail: doro55v@gmail.com; ORCID 0000-0002-0070-5663

О.С. Панащук, провідний технолог

В.О. Шинський, наук. співроб.,; *e-mail: shynskyvo@nas.gov.ua;*

ORCID 0000-0001-5033-1199

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

ДРІБНОСЕРІЙНЕ ВИРОБНИЦТВО ЛИВАРНОЇ ПРОДУКЦІЇ ЗА МОДЕЛЯМИ, ЩО ГАЗИФІКУЮТЬСЯ, ЯК ПРИКЛАД ПОЧАТКОВОГО КРОКУ ДО ВІДНОВЛЕННЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

Дрібносерійне виробництво металопродукції розглядається як важливий етап у відновленні машинобудування, оскільки воно дозволяє оперативно реагувати на потреби ринку, потребує невеликого початкового інвестування зі значним потенціалом масштабування виробництва. Гнучкість такого виробництва залежить від можливості швидкої зміни асортименту продукції, її індивідуалізації за потребами замовників, а інноваційний потенціал пов'язаний зі спрощеним впровадженням нових технологій, включно з цифровізацією. На регіональному рівні розвиток дрібного виробництва стимулює створення нових робочих місць, сприяє зростанню зайнятості в регіоні, економічному зростанню та підвищенню його інвестиційної привабливості. Розглянуто кроки для успішного розвитку дрібносерійного виробництва як важливої передумови для відновлення галузі машинобудування. Як приклад перспективного дрібносерійного виробництва описано ливарний цех із процесом лиття за моделями, що газифікуються (ЛМГ). Показано зразки його продукції, особливості та переваги ЛМГ-технології, невисокі інвестиційні потреби організації такого цеху завдяки можливості виготовлення більшості обладнання та оснастки для нього вітчизняними підприємствами. Зазначено, що ливарні технології мають різні підходи до забезпечення міцності ливарної форми. ЛМГ-процес відрізняється унікальним використанням градієнта газового тиску від випаровування моделі та багаторазовим використанням формувального піску без зв'язувальних компонентів. Описано перспективи й важливість цифровізації ЛМГ-процесу з акцентом на 3D-друк ливарних моделей. Схематично вплив основних технологічних параметрів ЛМГ на якість виливків показано за допомогою діаграми Ішікави, на якій окремі фактори позначено з урахуванням наших останніх досліджень та значного досвіду удосконалення ЛМГ-процесу науковцями ФТІМС НАН України.

Ключові слова: дрібносерійне виробництво, машинобудування, лиття за моделями, що газифікуються, 3D-друк, разова ливарна модель, газифікація моделі.

Структура експорту в Україні у 2023 р. відчутно змінилась у бік посилення сировинної залежності, що відображає суттєві небажані трансформації в економіці країни. Експорт товарів із високим рівнем доданої вартості зменшився до 2,15 млрд дол. США або до 6,2 %, поступившись навіть експорту корисних копалин в умовах транспортної блокади; експорт металів знизився до 3,9 млрд дол. або до 11,2 % (рис. 1) [1]. Падіння рівня доданої вартості призводить до спрощення ринку праці, скорочення внутрішніх ресурсів, які можна направити на освіту та науку, і на новому колі — чергове падіння продуктивності економіки.

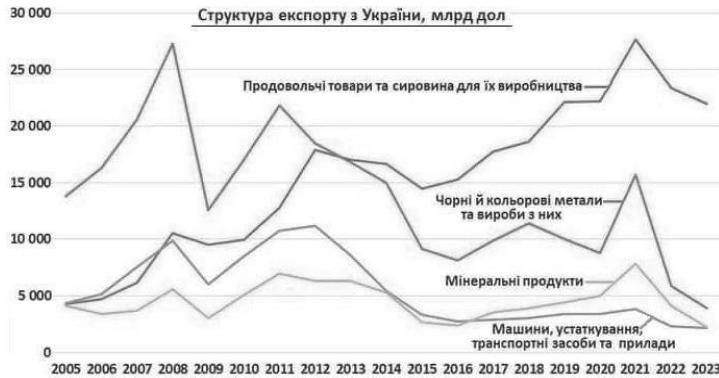


Рис. 1. Структура основних статей експорту України по роках [1]

Для збалансування цієї ситуації та зменшення сировинної залежності доцільні такі рішення, як розвиток високотехнологічних галузей, стимулювання інновацій і підвищення конкурентоспроможності виробництва, що сприятимуть диверсифікації експортних напрямків й підвищенню доданої вартості виробленої продукції. Експерти радять акумулювати доходи від сировинного сектора та сектора послуг на потреби технічної освіти, науки, інновацій і стимулів розвитку проривних галузей промисловості, зокрема ВПК [1]. Для підтримки ВПК необхідні суміжники, галузі подвійного призначення з виробництва заготовок і комплектуючих, переробки сировини, обробні галузі, машинобудування.

У цій статті дрібносерійне виробництво металопродукції розглянуто як одне з джерел відновлення вітчизняного машинобудування (однієї з найбільш трудомістких і наукомістких галузей промисловості); успішний розвиток початкових і невеликих виробництв збільшить потенціал масштабного росту всього виробничого комплексу країни. Такий підхід дозволяє почати виробництво в невеликому обсязі, що зменшує фінансові ризики та дозволяє випробувати нові ідеї, технології й продукцію на ринку. Також він сприятиме розросту локального виробництва (зокрема ремонтних запчастин), місцевої економіки, створенню нових робочих місць із розвитком професійних навичок серед працівників. Крім того, цей підхід може допомогти залученню інвестицій, стимулюючи подальший розвиток машинобудування.

Дрібносерійне виробництво дозволяє оперативно реагувати на потреби ринку, забезпечуючи достатню якість продукції при невеликих обсягах виробництва з урахуванням таких його переваг: 1) гнучкість: можливість швидко змінювати асортимент продукції, адаптуючись до змін попиту; 2) сприятливість до інновацій: полегшене впровадження нових технологій та інновацій у виробничий процес; 3) уважність до деталей, що підвищує якість продукції завдяки меншому обсягу виробництва; 4) оптимізація витрат на виробництво шляхом використання наявного обладнання та меншої кількості матеріалів.

До ключових факторів сприяння успішності дрібносерійного виробництва належать: 1) модульні виробничі системи, які можна швидко переналаштувати під різні продукти й технології з можливістю рознесення по різних приміщеннях, виробничих дільницях створюваних напівпродуктів та оснащення з тривалими термінами їх використання; 2) обладнання невисокої капіталоємності, плинні сировинні й технологічні

матеріали, бажано з високим ступенем повторного циклічного використання (для екологічної стійкості та оптимальної ресурсомісткості) і невеликої густини; 3) нескладність автоматизації виробництва, впровадження адитивних технологій (3D-друку) для швидкого створення прототипів (зі скороченням часу виходу на ринок) і невеликих серій металовиробів; 4) сприятливість до інтеграції з цифровими технологіями для моделювання, проектування й оптимізації виробничих процесів.

Діюче дрібносерійне виробництво більш привабливе для інвестицій з метою його розширення в процесі відбудови промисловості країни, ніж створюване з нуля, що слугуватиме підґрунтям відновлення машинобудування. Таким чином, дрібносерійне виробництво металопродукції може стати ефективним інструментом для відродження машинобудування, забезпечуючи його конкурентоспроможність і сталий розвиток.

Ключову роль у машинобудуванні відіграє ливарне виробництво як його основна заготівельна база, оскільки до половини за масою промислової металопродукції складається з деталей і вузлів, виготовлених саме ливарними методами. Ливарне виробництво постачає продукцію з різних металів та сплавів для машин і механізмів, транспортної індустрії, енергетики, ВПК тощо, виготовляючи складні за геометричною конфігурацією й конструкцією деталі, які було б важко або неможливо виготовити іншими способами.

Створення дрібносерійного виробництва металевих виливків у дослідно-промисловому цеху ФТІМС НАН України продуктивністю 30–40 т на місяць є прикладом диверсифікації виготовлення металопродукції як за масою (від 0,2 до 1100 кг), металевими сплавами (чорні й кольорові), так і за серійністю продукції. Такої варіативності виробництва досягнуто завдяки впровадженню в цеху технології лиття за моделями, що газифікуються (ЛМГ, Lost Foam Casting), яка відповідає практично всім наведеним вище показникам для успішного дрібносерійного виробництва металовиробів.

Технологію ЛМГ ґрунтовно вдосконалено й впроваджено у виробництво дослідженнями під науково-проектним керівництвом проф. О.Й. Шинського [2]. У жодній ливарній технології, крім ЛМГ, метал не заливається в ливарну форму, порожнина якої заповнена твердим матеріалом, що є унікальною особливістю ЛМГ. Якщо типова порожнинна піщана форма під час заливання металу є носієм функції утримання й перенесення на метал геометрії (конфігурації) майбутнього виливка, то при ЛМГ ці функції виконує разова ливарна модель. У першому випадку міцність стінки форми зумовлена адгезійно-когезійними силами в піску зі зв'язувальним компонентом, а в другому — градієнтом газового тиску завдяки різниці тиску у вакуумованому пористому середовищі сухого формувального піску й тиску газів від термодеструкції моделі, яка служить рухомим джерелом газовиділення в міру заміщення її розплавом металу. Умовно кажучи, визначальна роль хімії в технології піщаної формовки поступилася місцем фізиці, що, зокрема, дало перевагу за екологічністю: менша кількість хімічних речовин знижує негативний вплив на довкілля.

Застосування ливарних форм із сухого піску багаторазового обігу (без зв'язувальних компонентів) дозволяє без капіталоємного масивного обладнання (порівняно з типовими формувальними машинами пресування чи струшування) регулювати виробництво як за строками (з накопиченням разових моделей упродовж місяця й більше), за металоємністю форми, розміщуючи від 1 до 20 модельних кушів чи кластерів з окремими стояками в одній формі, так і за локацією виробничих дільниць із можливістю винесення модельної дільниці в прибудову до цеху, на поверхи вище першого чи в окремі легкої конструкції приміщення.

Циклічний обіг та охолодження формувального піску взагалі можна проводити поза цехом, уздовж зовнішньої його стіни, що реалізовано обладнанням модульного типу в цеху ФТІМС НАН України. Об'ємна комплектація ливарних моделей із пінополістиролу (ППС) у кластери чи куші та застосування багатомісних ливарних форм (з окремими ливарними стояками для кожного куша моделей) суттєво економлять виробничі площі (на тонну продукції) для заливання й вистоювання форм або

скорочують ливарні конвеєри порівняно з литтям у більш поширені традиційні форми в парних опоках. Застосування сухого піску для ливарних форм спрощує обіг піску, для чого застосовують обладнання, аналогічне до типового для заводу підготовки будматеріалів, яке нескладно комплектувати з окремих установок-модулів і виготовити в більшості вітчизняних механічних цехів. Останні розробки інституту ФТІМС НАН України щодо моделювання біонічних литих конструкцій із ППС, регулювання швидкості охолодження литва в піщаній формі, включно з варіантами його термообробки [3], застосування 3D-фрезерів та 3D-принтерів для виготовлення моделей, у тому числі з вентиляцією моделей і знешкодженням викидів газів [4], суттєво вдосконалюють ЛМГ-процес із можливістю його комп'ютеризації, автоматизації, поліпшення екологічної безпеки та збільшення перспективних варіантів виготовлення легковагих тонкостінних виливків [5] складної геометрії.

Тривала практика показала вигідне застосування технології ЛМГ для ремонтного та індивідуалізованого литва, зокрема реалізованого для виробництва швидкозношуваних навісних робочих органів ґрунтообробного (передусім сільськогосподарського призначення), землерийного та гірничодобувного обладнання [6] — як імпортного, так і вітчизняного. Приклади підготовлених до заливання ливарних форм різного розміру й металоємності (одно- дво- та чотиримісних) в цеху ЛМГ ФТІМС НАН України показано на рис. 2, а також процес їх заливання металом.



Рис. 2. Піщані форми різних розмірів у цеху ЛМГ та заливання їх металом



Також на рис. 3, 4 показано приклади моделей та виливків, які нині виготовляють дрібними серіями в цеху ЛМГ ФТІМС НАН України в міру надходження замовлень. Це робочі органи ґрунтообробного та землерийного обладнання, ланки конвеєрів та інші деталі рухомих механізмів.

Описана придатність ЛМГ-процесу до рентабельного дрібносерійного виробництва особливо вигідна з огляду на обставини, що склалися протягом останніх десятиліть, коли боротьба за конкурентну перевагу у виробництві продукції на основі збільшення продуктивності процесу призвела до того, що в деяких галузях майже досягнуто її максимуму, а запити потенційного споживача інноваційної продукції змінилися в бік підвищення ступеня індивідуалізації зі збереженням доступного рівня цін (Baykasoglu et. al., 2004, [7]). У багатьох сферах економіки почалася масова кастомізація продукції, при якій замовник бере активну участь у процесі проектування необхідного йому товару, зокрема через NFC-систему (бездротової передачі даних і платежів). Така трансформація виробництва приводить до скорочення часу виходу товару на ринок, зменшення обсягів складських запасів, часу їх зберігання та кількості одиниць продукції, а загальна цифровізація технологічних процесів змушує компанії впроваджувати передові методи виробництва, щоб залишатися конкурентоспроможними [8].

У відповідь на вищезазначені потреби [7, 8] обнадійливі перспективи для дрібносерійного ЛМГ-процесу відкриває 3D-друк ливарних моделей [4], при якому без модельного оснащення з цифрового креслення на екрані монітора за допомогою принтера друкується модель протягом 5–10 год (в ідеалі) та протягом

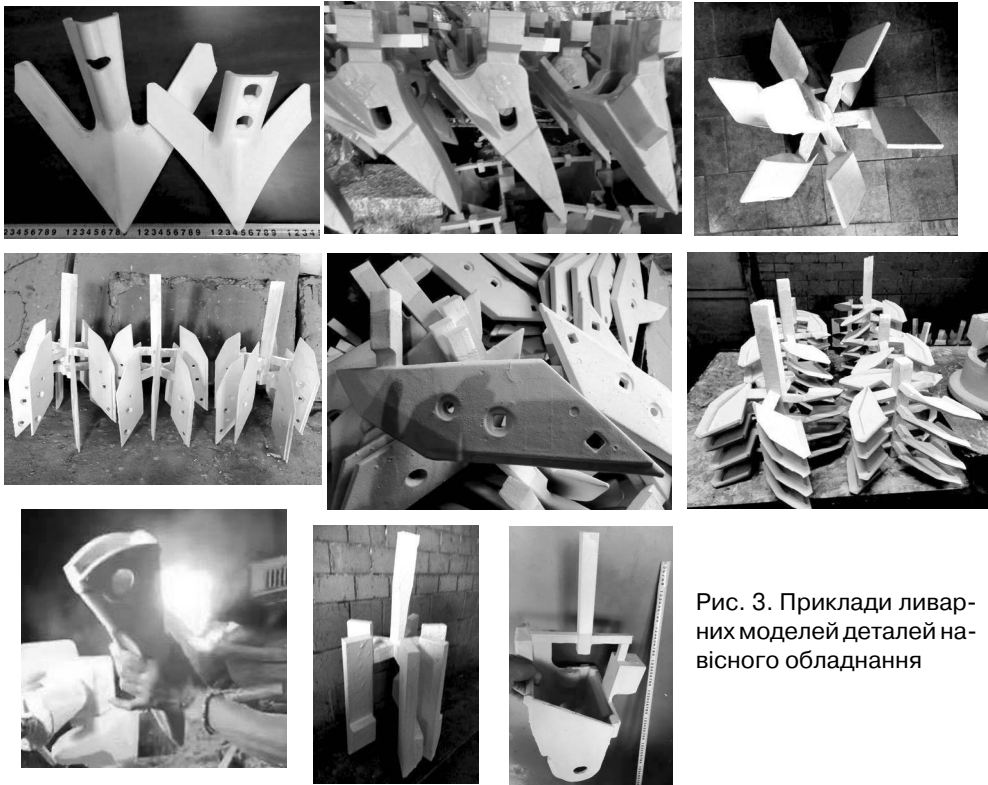


Рис. 3. Приклади ливарних моделей деталей навісного обладнання

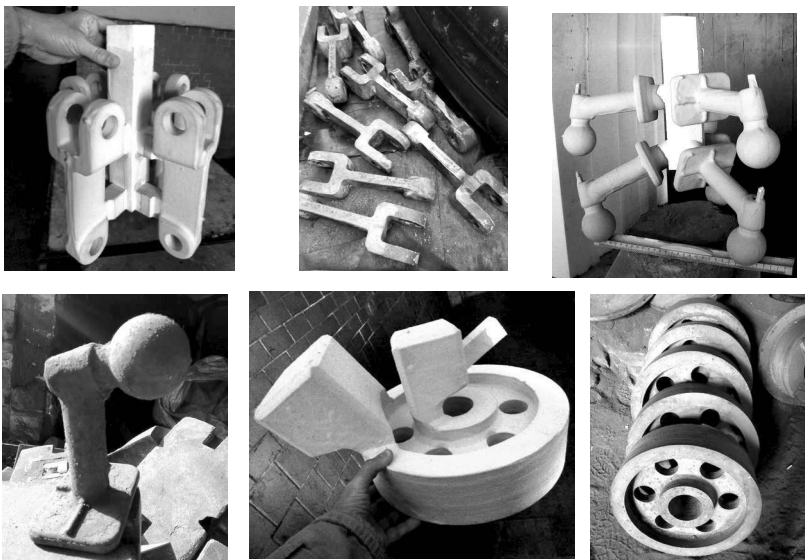


Рис. 4. Моделі й виливки ланок конвеєра та інших деталей механізмів

наступних 1–2 днів по ній методом ЛМГ можливе виготовлення виливка. Така «матеріалізація» ливарної моделі із цифрового файлу в концепції «Індустрія 4.0» називається цифрофізичним перетворенням, що значно скорочує процес від креслення до металопродукції та відповідає одному з перспективних кроків цифрової трансформації ливарної галузі як для швидкої зміни асортименту продукції у відповідь на зміну потреб ринку, так і наближення до концепції «виробництво як послуга».

З метою візуалізації структури процесу ЛМГ стосовно впливу основних технологічних параметрів на якість виливків, а також для оцінки масиву такої

інформації в його кількісному (за числом чинників впливу) та якісному складі (за організаційно-технологічною сутністю впливу) використано діаграму за методом Ішікави. Діаграма Ішікави як «причинно-наслідкова» діаграма або як діаграма «аналізу кореневих причин» була ним описана в 1968 р. в роботі «Guide to Quality Control», яку перевидано кілька разів [9, 10]. Для аналізу технології лиття ЛМГ вона також згадується в низці публікацій про дослідження технології ЛМГ, зокрема в роботі [11].

Взявши до уваги результати розробок і досліджень із розширення технологічних можливостей ЛМГ-процесу, які описано в роботі [2], а також накопичений ґрунтовний досвід при тривалому виробничому використанні ЛМГ, варіант діаграми Ішікави з роботи [11] ми доповнили та уточнили деякими чинниками. Структура діаграми Ішікави дозволяє встановити основні фактори впливу на ливарний об'єкт, технологічний процес чи кінцевий продукт, зокрема литу металеву конструкцію, а також встановити взаємозв'язок між основними чинниками й детермінований вплив другого (нижчого) рівня на основні параметри.

Оскільки основна задача ливарного виробництва — отримання виливка з концентратом відношенням його якості до собівартості, то такий показник указали на діаграмі як кінцевий продукт (рис. 5). Основні гілки, які визначають якісні та експлуатаційні характеристики литого виробу, позначено таким чином: сплав (виливка), вакуум (у ливарній формі), вібрація (форми при ущільненні піску), пісок (наповнювач ливарної форми), модель (якісні характеристики), покриття (моделі) [11]. Для кожної з таких гілок встановлено визначальні чинники другого порядку.



Рис. 5. Діаграма Ішікави для ЛМГ-процесу

Пояснимо наші доповнення серед чинників другого порядку на діаграмі до вказаних у роботі [11], застосувавши системний підхід із роботи [2]. Гілку діаграми щодо формуального піску до трьох відомих показників ми доповнили новим — «ступінь освіження піску». У багаторазовому обороті формуального піску при ЛМГ регулярне додавання не менше 5 % свіжого або регенованого кварцового піску сприяє підтриманню належної газопроникності наповнювача ливарної форми без надмірного накопичення в ньому забруднень, що зменшує газотвірність піску та імовірність потрапляння газів із ливарної форми в повітря цеху. Неналежне регулярне освіження піску може призводити до обсіпання форми та контакту металу з продуктами газифікації, які не повністю видалені з порожнини форми та спричиняють брак виливків.

У гілці «модель» на якість виливка, крім пористості матеріалу моделі та його густини, впливає тип ливникової системи. За монографією В.С. Шуляка (2007), перевагу надано сифонним ливниковим системам. Також указано фактор вентилявання друкованих чи комбінованих (із друкованими вставками) ливарних моделей, густина яких може бути вищою, ніж у типових пінополістирольних. Останнє дозволяє вивести надмірну кількість газів за межі форми через верхню її поверхню або у вакуумований пісок форми по вентканалах (патент 150121, Україна, від 05.01.2022, а також заявка u202305216, Україна, від 7.11.2023).

Для гілки «покриття» додано показник «газопроникність» як важливу характеристику, що підбирається складом (рецептурою) рідкої фарби, яка утворює покриття. Газопроникність покриття — один із чинників (поряд із величиною вакууму), які регулюють протитиск газів на розплав металу та впливають на його формозаповнюваність. Подвійне нанесення фарби зменшує газопроникність її покриття.

До гілки «вакуум» внесено чинники «діаметр вакуумпроводу» та «наявність вакуумресівера», що впливають на стабільність режиму вакуумування форми, оскільки її вакуум може знижуватись під час заливання вакуумованої форми рідким металом, який частково розгерметизовує пісок форми, особливо при заливанні багатомісних форм та кількох форм підряд. Наявність ресівера з вакуумпроводом діаметром не нижче ДУ 50 згладжує можливі піки газовиділень і «втрати» рівня вакууму при заливанні форм. Чинники гілок «сплав» і «вібрація» залишили без доповнень.

Висновок.

Дрібносерійне виробництво металопродукції має значний потенціал сприяння відновленні галузі машинобудування, особливо на початкових етапах шляхом розвитку невеликих підприємств. У статті розглянуто переваги дрібносерійного виробництва для машинобудування як можливість невеликих початкових інвестицій, гнучкість виробництва зі швидкою адаптацією до ринкових змін зміною асортименту продукції, її індивідуалізація за специфічними потребами замовників, інноваційний потенціал зі спрощенням впровадження нових технологій, включно з цифровізацією. Щодо регіонального впливу, то розвиток такого виробництва стимулює створення нових робочих місць, сприяє зростанню зайнятості в регіоні, економічному зростанню регіону та підвищенню його інвестиційної привабливості. Розглянуто шляхи успішного розвитку дрібносерійного виробництва як важливої передумови для відновлення галузі машинобудування, її економічного зростання та інноваційного розвитку. Як приклад перспективного дрібносерійного виробництва описано ливарний цех із процесом лиття за моделями, що газифікуються, показано зразки його продукції, особливості і гнучкість технології, невисокі інвестиційні потреби його організації завдяки можливості виготовлення більшості обладнання та оснащення вітчизняними підприємствами, а також цифровізації з акцентом на 3D-друк ливарних моделей. Візуалізацію структури процесу ЛМГ стосовно впливу основних технологічних параметрів на якість виливків виконано за допомогою діаграми Ішікави, на якій окремі фактори позначено з урахуванням наших останніх досліджень та значного досвіду удосконалення ЛМГ-процесу під науковим керівництвом проф. О.Й. Шинського.

Список літератури

- 1 Куш О.І. Аналітика Куща. Channel info. 15.04.2024. URL: https://t.me/Analitika_Kush/1394.
- 2 Шинський О.Й., Шалевська І.А., Шинський В.О., Калюжний П.Б., Шевчук Т.В., Лисенко Т.В., Слюсарев В.А., Погребач Є.В., Коломійцев С.В. Принципи побудови та ідентифікації багаторівневої системи контролю параметрів технологічного циклу одержання литих конструкцій. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. № 5/1. С. 25–32.
- 3 Дорошенко В.С., Калюжний П.Б. Ізотермічне гартування залізовуглецевих сплавів, що суміщене з їх виливанням. *Металознавство та обробка металів*. 2024. № 1. С. 47–59. <https://doi.org/10.15407/mom2024.01.047>.

- 4 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>.
- 5 Дорошенко В.С., Ладарева Ю.Ю., Клименко С.І. Тонкостінні виливки з високоміцного чавуну за моделями, що газифікуються. *Процеси лиття*. 2023. № 4. С. 69–77. <https://doi.org/10.15407/plit2023.04.069>.
- 6 Дорошенко В.С., Калюжний П.Б. Сучасні технології зміцнення робочих органів ґрунто-обробних машин. *Металознавство та обробка металів*. 2023. №1. С. 34–45. <https://doi.org/10.15407/mom2023.01.034>.
- 7 Baykasoglu A., B y kozkan G., Dereli T. Technology oriented new product development in a rapidly changing world. Proceedings of the conference IMS-2004, 4th Int. Symposium on intelligent manufacturing systems. Sakarya, Turkey, 2004. P. 1040–1048.
- 8 Natsir Ch. What is advanced manufacturing and its benefits for your company? Hashmicro. 2022. April 28. URL: <https://www.hashmicro.com/blog/what-is-advanced-manufacturing/>.
- 9 Ishikawa K. Guide to Quality Control. Industrial engineering and technology. Asian Productivity Organization, 1986. 226 p.
- 10 Ishikawa K. What is Total Quality Control? The Japanese Way. London: Prentice Hall, 1985. 215 p.
- 11 Kumar S., Kumar P., Shan H.S. Effect of Process Parameters on the Solidification Time of Al7%Si Alloy Castings Produced by VAEPD Process. *Materials and Manufacturing Processes*. Sept. 2007. 22(7-8):879–886.

Надійшла 20.06.2024

References

- 1 Kush O.I. Analytics Kush. Channel info. 04/15/2024. URL: https://t.me/Analitika_Kush/1394.
- 2 Shinsky, O.Y., Shalevska, I.A., Shinsky, V.O., Kaliuzhnyi, P.B., Shevchuk, T.V., Lysenko, T.V., Slyusarev, V.A., Pogrebtach, E.V., Kolomyitsev, S.V. (2018). Principles of construction and identification of a multilevel system of control of parameters of the technological cycle for obtaining flex structures. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, (5/1), 25–32 [in Ukrainian].
- 3 Doroshenko V.C., Kalyuzhny P.B. (2024). Isothermal hardening of iron-carbon alloys combined with their casting. *Metallurgy and metal processing*. No. 1. P. 47–59. <https://doi.org/10.15407/mom2024.01.047>. [in Ukrainian].
- 4 Doroshenko V.S. (2021). Neutralization of gases during metal casting by gasifying models and prerequisites for using 3D-printed models for this. *Casting processes*. No. 3. P. 32–43. <https://doi.org/10.15407/plit2021.03.032>. [in Ukrainian].
- 5 Doroshenko V.C., Ladareva Yu.Yu., Klymenko S.I. (2023). Thin-walled castings from high-strength cast iron according to models that are gasified. *Casting processes*. No. 4. P. 69–77. <https://doi.org/10.15407/plit2023.04.069>. [in Ukrainian].
- 6 Doroshenko V.C., Kalyuzhny P.B. (2023). Modern technologies for strengthening the working bodies of tillage machines. *Metallurgy and metal processing*. No. 1. P. 34–45. <https://doi.org/10.15407/mom2023.01.034>. [in Ukrainian].
- 7 Baykasoglu A., B y kozkan G., Dereli T. Technology oriented new product development in a rapidly changing world. Proceedings of the conference IMS-2004, 4th Int. Symposium on intelligent manufacturing systems. Sakarya, Turkey, 2004. P. 1040–1048.
- 8 Natsir Ch. What is advanced manufacturing and its benefits for your company? Hashmicro. 2022. April 28. URL: <https://www.hashmicro.com/blog/what-is-advanced-manufacturing/>.
- 9 Ishikawa K. Guide to Quality Control. Industrial engineering and technology. Asian Productivity Organization, 1986. 226 p.

- 10 Ishikawa K. What is Total Quality Control? The Japanese Way. – London: Prentice Hall, 1985. 215 p.
- 11 Kumar S., Kumar P., Shan H.S. Effect of Process Parameters on the Solidification Time of Al7%Si Alloy Castings Produced by VAEPC Process. *Materials and Manufacturing Processes*. Sept. 2007. 22(7-8):879-886.

Received 20.06.2024

V.S. Doroshenko, Dr. Sci. (Engin.), Senior Research Scientist, Leading Researcher;
e-mail: doro55v@gmail.com; ORCID 0000-0002-0070-5663

O.S. Panashchuk, leading technologist

V.O. Shinsky, Research Scientist, e-mail: shynskyvo@nas.gov.ua;
ORCID 0000-0001-5033-1199

Physico-Techological Institute of Metals and Alloys of NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

SMALL-SCALE PRODUCTION OF FOUNDRY PRODUCTS BASED ON GASIFICATION PATTERNS AS AN EXAMPLE OF THE INITIAL STEP TOWARDS THE RESTORATION OF MECHANICAL ENGINEERING

Small-scale production of metal products is considered an important stage in the restoration of mechanical engineering, as it allows you to quickly respond to the needs of the market, requires a small initial investment with a significant potential for scaling up production. The flexibility of such production depends on the ability to quickly change the range of products, its individualization according to the needs of customers, and the innovative potential is associated with the simplified introduction of new technologies, including digitalization. At the regional level, the development of small-scale production stimulates the creation of new jobs, contributes to the growth of employment in the region, economic growth and increases its investment attractiveness. The steps for the successful development of small-scale production as an important prerequisite for the recovery of the mechanical engineering industry are considered. As an example of promising small-scale production, a foundry with the Lost Foam Casting process (LFC) is described. Samples of its products, features and advantages of LFC technology, low investment requirements for the organization of such a workshop due to the possibility of manufacturing most of the equipment and accessories for it by domestic enterprises are shown. It is noted that foundry technologies have different approaches to ensuring the strength of the foundry mold. The LFC process is characterized by the unique use of a gas pressure gradient from evaporation of the model and the repeated use of molding sand without binding components. The prospects and importance of digitalization of the LFC process with an emphasis on 3D printing of foundry models are described. Schematically, the influence of the main technological parameters of LFC on the quality of castings is shown with the help of the Ishikawa diagram, on which individual factors are marked taking into account our latest research and significant experience of improving the LFC process by scientists of PTIMA of the National Academy of Sciences of Ukraine.

Keywords: small-scale production, mechanical engineering, Lost Foam casting, 3D printing, one-time foundry pattern, pattern gasification.