

<https://doi.org/10.15407/plit2024.02.047>

УДК 621.74.046

А.І. Устименко, аспірант; e-mail: ustymenko@kpi.ua;

ORCID 0000-0002-5893-6499

І.В. Лук'яненко, канд. тех. наук, доцент; e-mail: lukianenkoiv@gmail.com;

ORCID 0000-0002-1043-9688; Scopus Author ID: 57224367323,

Researcher ID: J-7294-2017

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЇ ЛИВАРНОЇ ФОРМИ НА УТВОРЕННЯ ГРАДІЄНТНОЇ СТРУКТУРИ ВИЛИВКІВ ІЗ ЖАРОСТІЙКОГО ЧАВУНУ

Постійний розвиток процесу виробництва склотари та високі вимоги до її якості зумовлюють необхідність удосконалення інструментів та обладнання, що потрібні для виробництва. Під час процесу виготовлення склотари найбільшому зношуванню підлягає формувальний комплект, який працює в складних умовах, як-от: нагрівання до високих температур поверхневого шару робочої порожнини; утворення внутрішніх термічних напружень внаслідок градієнта температури за перерізом; виникнення ефекту термічного удару, що створюється внаслідок циклічної зміни температур під час експлуатації; механічна дія на робочу порожнину формо-комплекту з боку скломаси, зумовлена особливостями технологічного процесу виготовлення склотари. У роботі представлено результати досліджень технологічних особливостей виготовлення виливків із жаростійкого кремнистого чавуну для створення спрямованої градієнтної структури. Проведено металографічні дослідження та визначено механічні властивості окремих структурних складових металевої матриці. У результаті проведених досліджень встановлено, що із застосуванням технологічного варіанту з використанням інокулятора та холодильника досягнуто утворення спрямованої градієнтної структури литому стані. Визначено, що розмір графітових включень за перерізом вилівка змінюється від 6 мкм до 570 мкм в зоні поверхневого оброблення чавуну та від 29 мкм до 1130 мкм із протилежного боку, що забезпечуватиме кращі експлуатаційні властивості, порівняно з виробом із гомогенною структурою. Встановлено, що в обох технологічних варіантах в литому стані спостерігається утворення феритно-перлітної структури. Одержані результати будуть використані для проведення подальших досліджень для отримання необхідної структури після термічного оброблення або в литому стані без додаткового термічного оброблення, що суттєво покращить економічні показники.

Ключові слова: формувальний комплект, склотара, чавун, графіт, модифікування, інокулятор, холодильник, градієнтна структура.

Якість деталей формокомплекту — ключовий фактор, який впливає на експлуатаційні показники скляної тари, тому проводиться постійне розроблення та дослідження матеріалів і технологій їх виготовлення. Найпоширенішими технологіями виготовлення заготовок деталей формокомплекту є застосування технологій лиття, які дозволяють забезпечити необхідний хімічний склад матеріалу та можливість керувати його структурою [1, 2].

Як матеріал для деталей формокомплекту використовують леговані сталі (30X13, 40X13, 12X18H10T тощо), сплави кольорових металів (теплостійкі алюмінієві бронзи) і навіть композитні матеріали (використовуються як самозмащувальні форми) [3]. Однак основним матеріалом для їх виготовлення на світовому ринку виробників заготовок формокомплектів є леговані графітізовані чавуни з різною формою графіту, наприклад, ЧХ1, ЧХ2, ЧХ3, ЧЮХК, JSA/XNi35, JSA/XNi35Si5Cr2 [4, 5].

Циклічні термічні та механічні навантаження, що супроводжують процес виготовлення склотари, найбільше впливають на поверхневі шари робочої частини деталей формокомплекту (на глибині від 1 до 10 мм) та призводять до утворення дефектів у вигляді тріщин, окиснення, викришування графітових включень із поверхні тощо. Водночас чавун, який використовують як матеріал деталей елементів склоформувального комплекту, повинен ефективно чинити опір утворенню дефектів, бути міцним та стабільним до структурних перетворень, враховуючи навантаження в процесі експлуатації [6, 7].

Одним із ефективних способів підвищення терміну експлуатації чавунних деталей формових комплектів є структуризація литої заготовки, яка може бути реалізована за рахунок використання різноманітних технологічних прийомів, що забезпечать утворення градієнтної структури за перерізом виливка. При цьому дослідники умовно виділяють у виливку три окремі шари, які забезпечують різні властивості та триваліший термін експлуатації формокомплекту: робочий (товщиною до 15 мм, безпосередньо контактує зі склом), проміжний (товщиною 15–30 мм) та зовнішній (контактує із атмосферою цеху) [6, 8].

Забезпечити різний тип структуризації виливків із залізовуглецевих сплавів можна різними способами, що описані в технічній літературі. Зокрема, такі способи, як використання матеріалів із високими теплофізичними характеристиками, що забезпечують підвищену швидкість кристалізації сплаву в ливарних формах, широко застосовуються для виготовлення чавунних виробів із різною структурою за перерізом [9, 10]. Також застосування дисперсних сумішей у порожнині ливарної форми набуло поширення для забезпечення утворення у виливку легованого шару визначеної товщини на окремих поверхнях [11, 12]. Однак важливим фактором для деталей склоформувальних комплектів є відсутність структурно вільних та евтектичних карбідів, мінімізація перлітної складової металевої матриці й забезпечення її максимальної феритизації. Як відомо, основним графітізуювальним елементом у чавуні є кремній, який запобігає утворенню карбідів під час кристалізації та сприяє зміцненню феритної металевої основи [13]. Ефективним способом його застосування є внутрішньоформове модифікування, переваги якого висвітлено у роботах [14, 15]. Використання особливостей описаних технологічних прийомів створює передумови для отримання необхідної структури чавунних заготовок у литому стані.

Метою роботи є дослідження технологічних прийомів для отримання спрямованої градієнтної структури в чавунному виливку, що застосовується як заготовка для виготовлення деталей склоформувального комплекту. У роботі розглянуто технологічні особливості виготовлення литої чавунної заготовки, пов'язані із застосуванням методів внутрішньоформового поверхневого оброблення розплаву та варіюванням умов кристалізації й охолодження в порожнині ливарної форми.

та варіюванням умов кристалізації й охолодження в порожнині ливарної форми.

Матеріали та методи

Структуроутворення у чавунних виливках досліджували на жаростійкому кремнистому чавуні, хімічний склад якого наведено у табл. 1. Вибір чавуну зумовлений

Таблиця 1

Хімічний склад дослідного чавуну

Вміст елемента, %					
C	Si	Mo	V	Cr	Fe
3,05-3,25	3,14-3,54	0,47-0,67	0,07-0,11	≤ 0,10	основа

попередньо проведеними дослідженнями [16] та показниками його економічності.

Чавунний розплав отримали в електропечі ІСТ-006 методом переплаву, температура заливання форми становила від 1350 °С до 1400 °С. Із центральної частини виливків, виготовлених у піщано-глинястих формах, вирізали дослідні зразки, як показано на рис. 1, що досліджували в литому стані в п'яти зонах товщиною 2–3 мм на рівномірному віддаленні від місця внутрішньоформового поверхневого оброблення розплаву (рис. 1, в).

Оброблення розплаву чавуну проводили безпосередньо в порожнині ливарної форми за двома варіантами. Перший варіант полягав у заливанні чавунного розплаву

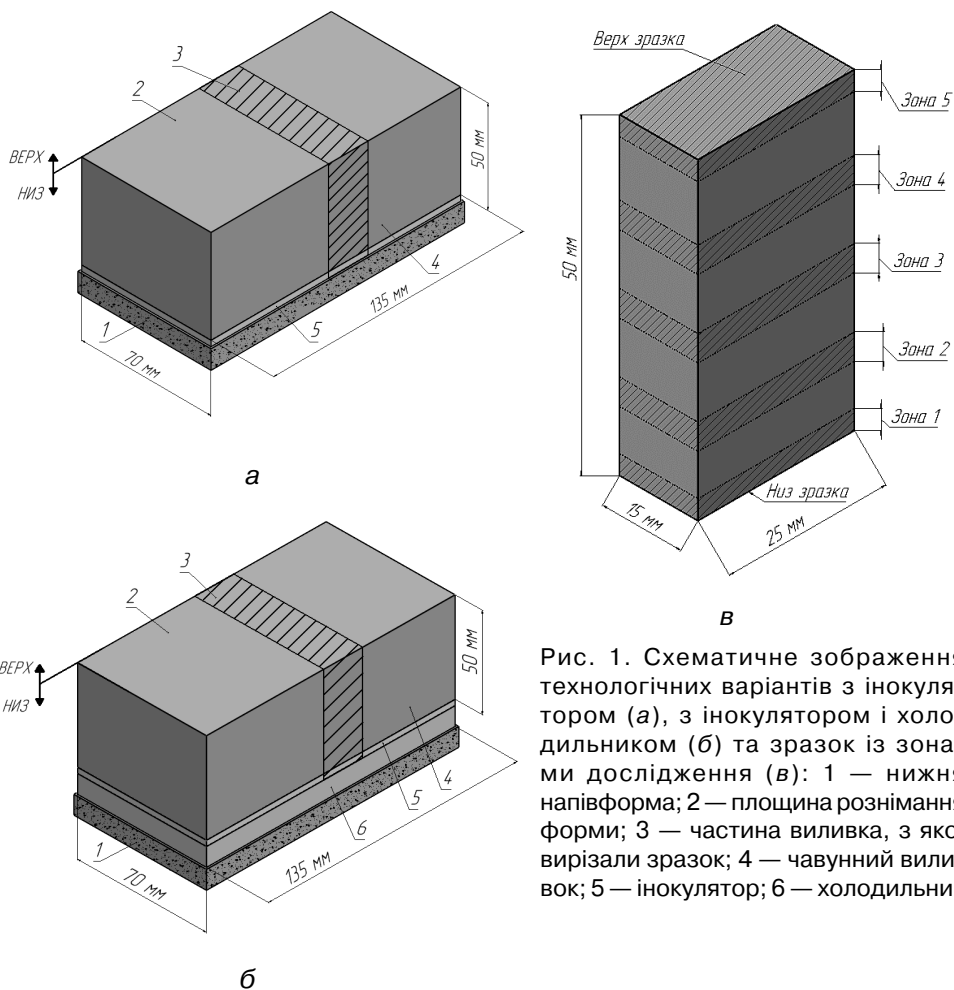


Рис. 1. Схематичне зображення технологічних варіантів з інюлятором (а), з інюлятором і холодильником (б) та зразок із зонами дослідження (в): 1 — нижня напівформа; 2 — площина рознімання форми; 3 — частина виливка, з якої вирізали зразок; 4 — чавунний виливок; 5 — інюлятор; 6 — холодильник

напівформи та закріплено за допомогою самовисихаючої фарби на основі циркону (рис. 1, а) задля забезпечення утворення градієнтної структури за перерізом виливка. Другий варіант, окрім використання дисперсного інокулятора фракції 0315 [17], передбачав застосування чавунних холодильників товщиною 10 мм, 20 мм та 30 мм (рис. 1, б) з метою підсилення ефекту направленої структуризації.

Інокулятором слугував SB5 (виробник ASK Chemicals Metallurgy, ФРН), подрібнений до фракцій 0315, 04 та 063, вибір яких базувався на результатах досліджень [11, 12, 17] у кількості 0,5 % від маси виливка. Також вибір марки інокулятора ґрунтувався на тому, що до його складу, крім кремнію, входять сильні графітізувальні елементи, такі як барій, кальцій та алюміній, роль яких полягає не лише у графітізувальній дії, а й, імовірно, у створенні додаткових центрів кристалізації та, як наслідок, зменшенні розмірів графітових включень і зерен металевої матриці.

Оскільки інокулятор наносили лише на одну поверхню форми, то передбачалось забезпечення утворення градієнтної структури за перерізом виливка.

Металографічні дослідження проводили за допомогою мікроскопа iScore, IS.1053-PLMi Euromex із подальшим цифровим обробленням знімків. Дослідження механічних властивостей окремих структурних складових металевої матриці чавунних виливків здійснювали на мікротвердомірі PMT-3 ($F = 1,96$ Н, витримка 10 с [18]), аналіз форми включень згідно з ДСТУ EN ISO 945-1:2022 [19].

Результати та обговорення

Результати першого етапу досліджень показали, що вплив інокулятора завадив утворенню евтектичних карбідів, а включення пластинчастого графіту можна класифікувати так: за формою — категорія I (евтектичний пластинчастий графіт із гострими кінцями); за розподілом — категорія C/C' (характеризується сукупністю пластинчастого графіту, оточеного хаотично орієнтованими меншими графітовими пластинками) [19].

Також за перерізом виливка було визначено площу, зайняту графітом, та розміри його включень. Отримані дані свідчать, що найбільша площа, а саме 10,5 %, зайнята графітовими включеннями, спостерігається в центральній частині виливка (зона 3) та зменшується до 4–8 % на його периферії (зони 1 та 5) (рис. 2, а). Аналогічно до характеру зміни площі, зайнятої графітом, спостерігається і розподіл розмірів його включень за перерізом виливка (рис. 3, а). При цьому розмір графітових включень на периферії виливка з обох сторін лежить у межах від 35 мкм до 895 мкм, а в центральній його частині — від 55 мкм до 1200 мкм. Такий розподіл графіту не забезпечує спрямованої градієнтної структури, а зменшені розміри й кількість графітових включень у зонах 4 та 5, порівняно із зоною 3, погіршують відведення тепла, що призводить до перегріву та передчасного виходу формокомплекту з ладу.

Результати аналізу другого варіанту оброблення розплаву чавуну з додатковим застосуванням холодильника показують, що ефект утворення направленої структуризації за перерізом виливка підсилюється, а включення графіту можна класифікувати так: за формою — категорія II в зоні 1 та категорія I в інших зонах; за розподілом — категорія C/C' (характеризується сукупністю пластинчастого графіту, оточеного хаотично орієнтованими меншими графітовими пластинками). Оброблення результатів металографічних досліджень показує, що направленість зміни площі зайнятої графітом (рис. 2, б) та розмірів його включень за перерізом зумовлена зміною товщини холодильників та найбільш виражена у випадку застосування холодильника товщиною 30 мм (рис. 3, б). Розміри графітових включень зростають у міру віддалення від поверхні виливка, яка контактує з холодильником та інокулятором і перебуває у межах від 6 мкм до 570 мкм біля місця поверхневого оброблення та від 29 мкм до 1130 мкм із протилежного боку. Відповідно, таке поступове збільшення розмірів та кількості графітових включень від зони 1 до зони 5 вказує на сформовану градієнтну структуру, що дозволить забезпечити надійні теплофізичні характеристики за перерізом формокомплекту в умовах циклічних температурних навантажень.

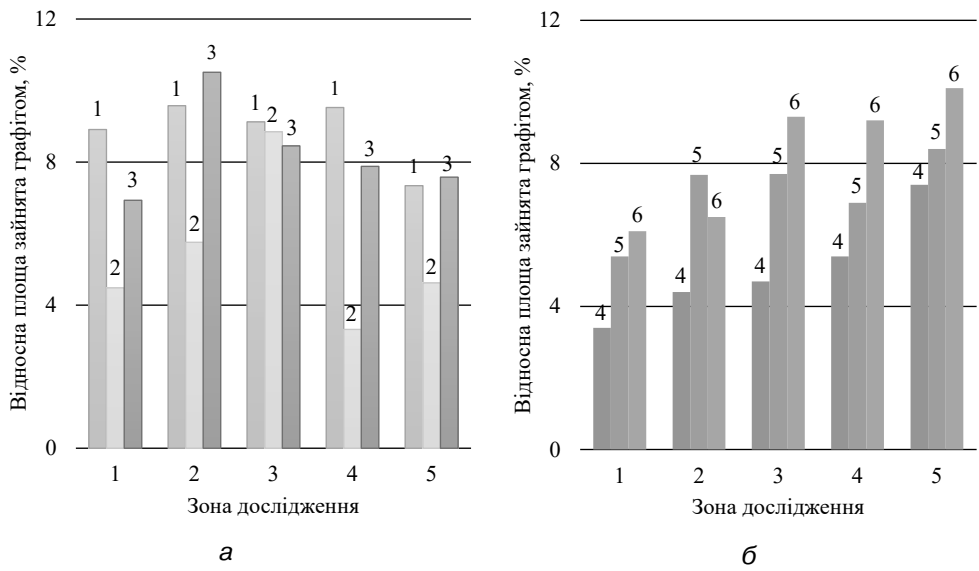


Рис. 2. Відносна площа, зайнята графітом, у зонах дослідження зразків, виготовлених із використанням інокулятора (а) та з використанням інокулятора із холодильником (б): 1 — фракція 0315; 2 — фракція 04; 3 — фракція 063; 4 — товщина холодильника 10 мм; 5 — товщина 20 мм; 6 — товщина 30 мм

Встановлено, що отримані характеристики графіту у зразках, виготовлених за двома технологічними варіантами, відповідають характеристикам виробленої аналогічної продукції інших виробників [5, 20].

У результаті металографічного дослідження травлених зразків установлено, що характер зміни середнього діаметру зерна металевої матриці корелює з характером зміни розмірів включень графіту для обох технологій. Також варто відзначити, що для металевої матриці, отриманої за обома варіантами, характерна наявність феритної

Номер зони дослідження

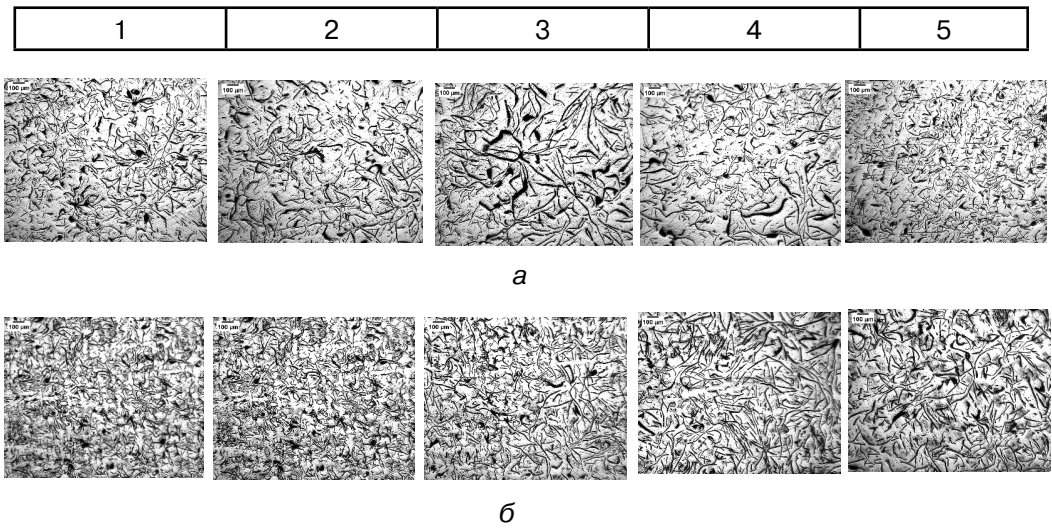


Рис. 3. Відображення зміни розмірів графітових включень за перерізом зразків, виготовлених із використанням інокулятора фракції 04 (а) та з використанням інокулятора фракції 0315 із холодильником товщиною 30 мм (б)

та перлітної складових у литому стані (рис. 4), особливо в зонах 4 та 5. Встановлено, що мікротвердість легованого фериту за перерізом виливка змінюється в діапазоні від 158 HV до 218 HV, що значно перевищує аналогічні показники для нелегованих чавунів із пластинчастою формою графіту. Утворення феритно-перлітної матриці відбувається не на всьому перерізі зразка, а розпочинається переважно в зоні 2; такий розподіл створений дією поверхневого модифікування лише в обмеженому шарі виливка від поверхні нижньої напівформи. Однак наявність нестабільної перлітної складової погіршує теплофізичні характеристики та може чинити деструктивний вплив на деталі формокомплекту в процесі експлуатації за рахунок розпаду на стабільні складові і, як наслідок, збільшення внутрішніх напружень у виробах.

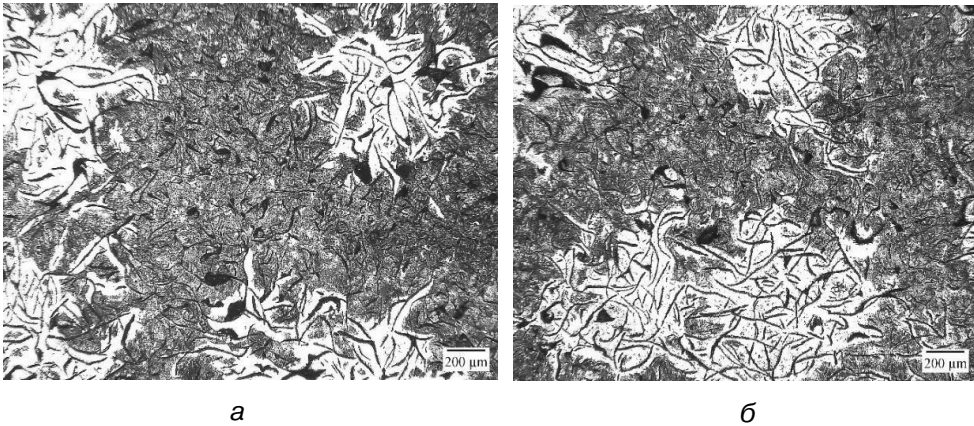


Рис. 4 . Перлітно-феритна металева матриця виливків у зоні 4, виготовлених із використанням інокулятора (а) та з використанням інокулятора з холодильником (б)

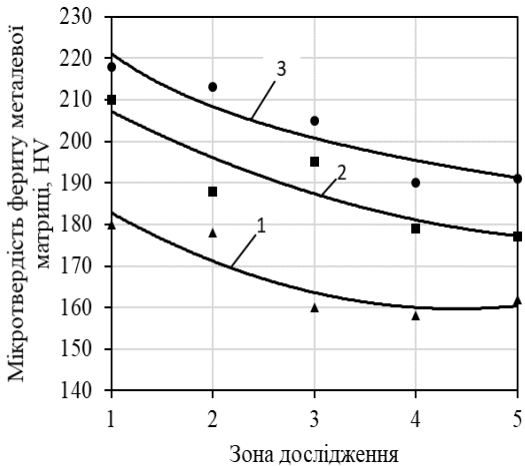


Рис. 5. Мікротвердість фериту металевої матриці виливків, виготовлених із використанням інокулятора, із холодильником товщиною: 1 — 10 мм; 2 — 20 мм; 3 — 30 мм

Проведені дослідження мікротвердості феритної складової металевої матриці свідчать про утворення легованого фериту з підвищеними механічними властивостями, що може сприятливо впливати на експлуатаційну стійкість виливка (рис. 5) та підтверджується роботами [13, 15].

У результаті проведених досліджень розроблено та проаналізовано два технологічні варіанти виготовлення чавунного виливка із спрямованою градієнтною структурою зі жаростійкого чавуну. Встановлено, що застосування внутрішньоформового модифікування лише інокулятором не приводить до зростання кількості та розмірів графітових включень у зовнішньому шарі виливка, що не забезпечує утворення направленої градієнтної структури за перерізом виливка.

Додаткове застосування холодильника як елемента, що створює нерівновісні умови кристалізації виливка, унаслідок інтенсивного тепловідведення забезпечує утворення направленої градієнтної структури за перерізом виливка. Використання холодильника товщиною поперечного перерізу 30 мм у комбінації з інокулятором фракції 0315 показує найкращі результати та забезпечує збільшення розмірів графітових включень за перерізом виливка від 6 мкм до 1130 мкм.

Експериментально встановлено, що за обох варіантів у литому стані спостерігається утворення перлітної складової, яка в процесі експлуатації деталі за умов високих температур є термодинамічно нестабільною. Її розпад, у свою чергу, зменшуватиме тривалість експлуатації деталі, що може бути виправлено за рахунок проведення феритизувального відпалу. Тому подальшим етапом дослідження технологічних варіантів, що розглянуті в даній роботі, є визначення впливу термічного оброблення.

Список літератури

- 1 Лосик М.В., Звір О.М. Технологічні та фізико-хімічні властивості скла: навчальний посібник. Львів: ЛНАМ, 2018.
- 2 Китайгородский И.И., Качалов Н.Н., Варгин В.В., Евстропьев К.С., Гинзбург Д.Б., Асланова М.С., Гурфинкель И.Е. Технология стекла. Изд. 3-е, перераб. ред. Москва: Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1961.
- 3 Гуляян Ю.А., Технология стеклотары и сортовой посуды. Учебник для техникумов. Москва: Легпромбытиздат, 1986, 264 с.
- 4 ДСТУ 8851:2019 Виливки з легованого чавуну зі спеціальними властивостями, 2019.
- 5 «fonderievaldelsane.com,» Fonderie Valdelsane.Products.Materials, [Online]. Available: <https://www.fonderievaldelsane.com/materials/>.
- 6 Александров М.В., Чистяков Д.Г. Формирование градиентной структуры в деталях стеклоформ из чугунов с различной морфологией графита. *Металлургия и материаловедение*. 2013. № 3 (100). С. 219–229.
- 7 Леушин И.О., Чистяков Д.Г., Володин В.А. Влияние структуры чугуна на образование эксплуатационных дефектов склоформирующей оснастки. *Наука и Образование*. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. 2015. Т. 15. № 11. С. 111–123.
- 8 Hollands L. The Glass to Metal Interface during Container Forming Processes. The University of Sheffield, March 1998.
- 9 Khrychikov V.E., Meniailo H.V., Semenov O.D., Aftandiliants Y.G., Gnyloskurenko S.V., Graphitizing modification of the axial zone of cast iron. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2023. № 1. Р. 67–73.
- 10 Лукьяненко И.В. Исследование процессов дифференциации структуры чугуновых отливок методом компьютерного моделирования. *Металл и литье Украины*. 2019. № 1–2. С. 41–46.
- 11 Kovalchuk A.G., Yamshinskij M.M., Fedorov G.E., Yamshinska N.V. Differentiated Properties of Metal Products' Surface. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*. 2017. Т. 6. № 10. Р. 186–194.
- 12 Ковальчук О.Г., Ямшинський М.М., Федоров Г.Є. Виробництво виливків з диференційованими властивостями поверхні. *Наукові вісті НТУУ «КПІ»*. 2017. № 6. С. 74–80.
- 13 Бубликов В.Б., Бачинський Ю.Д., Ясинський О.О. Легований кремнієм високоміцний чавун та його застосування. *Процеси лиття*. 2020. Т. 1. № 139. С. 20–29.
- 14 Бубликов В.Б., Бачинський Ю.Д., Нестерук О.П. Підвищення пластичності високоміцного чавуну внутрішньоформовим модифікуванням розплаву зі зменшенням вмістом кремнію. *Процеси лиття*. 2023. Т. 3. № 153. С. 3–11.
- 15 Ясинский А.А., Бубликов В.Б., Берчук Д.М., Зелёная Л.А., Ясинская Е.А. Влияние метода модифицирования и содержания кремния на структуру и механические свойства высокопрочного чугуна. *Металл и литье Украины*. 2015. Т. 6, № 265. С. 13–17.
- 16 Устименко А.І., Лук'яненко І.В., Ямшинський М.М., Гурія І.М., Кивгило Б.В. Нові жаростійкі сплави для виготовлення склоформ. *Процеси лиття*. 2023. Т. 1. № 151. С. 43–53.

- 17 Ковальчук А.Г., Ямшинський М.М., Федоров Г.Е. Усовершенствование технологических процессов поверхностного легирования заготовок в литейной форме. *Метал и литье Украины*. 2017. Т. № 8–10 (291–293). С. 55–63.
- 18 ДСТУ ISO 6507-1:2007 Матеріали металеві. Визначення твердості за Вікерсом. Ч. 1. Метод випробування (ISO 6507-1:2005, IDT), 2007.
- 19 ДСТУ EN ISO 945-1:2022 Мікроструктура чавунів. Ч. 1. Класифікація графіту візуальним аналізуванням, 2022.
- 20 fimaolimpia.it,» Fima Olimpia Fonderie Spa. Glass sector. Cast iron, [Онлайновий]. Available: http://www.fimaolimpia.it/en/area-vetro_ghise.php. [Дата звернення: 2024].

Надійшла 16.02.2024

References

- 1 Losyk M.V., Zvir O.M. Technological and physical and chemical properties of glass: Study guide. Lviv: LNAM, 2018 [in Ukrainian].
- 2 Kitaygorodsky I.I., Kachalov N.N., Vargin V.V., Evstropiev K.S., Ginzburg D.B., Aslanova M.S., Gurfinkel I. E. Technology of glass. Moscow: State publishing house of literature on construction, architecture and building materials, 1961 [in Russian].
- 3 Guloyan Y.A. Technology of glassware and glassware. *Textbook for technical schools*. Moskva. Legprombytizdat, 1986 [in Russian].
- 4 DSTU 8851:2019 Alloy cast iron castings with special properties, 2019 [in Russian].
- 5 “fonderievaldelsane.com,” Fonderie Valdelsane.Products.Materials, [Online]. Available: <https://www.fonderievaldelsane.com/materials/>
- 6 Alexandrov M.V., Chistyakov D.G. Formation of gradient structure in glass mould parts from cast irons with different graphite morphology. *Metallurgy and Materials Science*. 2013. № 3 (100). P. 219–229 [in Russian].
- 7 Leushin I.O., Bauman N.E. Influence of the structure of cast iron on the formation of operational defects in glass-forming equipment. *Science and Education MSTU*. 2015. Im. 11, 111–123. [in Russian]. doi: 10.7463/1115.0821978 [in Russian].
- 8 Hollands L. *The Glass to Metal Interface during Container Forming Processes*, The University of Sheffield, March 1998.. Retrieved from <https://core.ac.uk/download/pdf/9554653.pdf>.
- 9 Khrychikov V. E., Meniailo H.V., Semenov O.D., Aftandiliants Y.G., Gnyloskurenko S.V., Graphitizing modification of the axial zone of cast iron. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu* (1). 67-73, 2023. doi:<https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-1/067>.
- 10 Lukyanenko I.V. Study of differentiation processes of cast iron castings structure by computer modelling. *Metal and casting Ukraine* (1-2). 2019. P. 41–46. Retrieved from <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/166608> [in Russian].
- 11 Kovalchuk A. G., Yamshinskij M.M., Fedorov G.E., Yamshinska N.V. Differentiated Properties of Metal Products' Surface. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*. 2017. 6 (10), P. 186–194, 2017. Retrieved from <https://foundry.kpi.ua/wp-content/uploads/2020/03/ijertv6is100053.pdf>.
- 12 Kovalchuk O. G., Yamshinsky M. M., Fedorov G. E. Production of castings with differentiated surface properties. *Scientific news of NTUU «KPI»*. 2017. (6). 74–80 [in Ukrainian].
- 13 Bublykov V.B., Bachynskiy Y.D., Yasynskiy O.O. Silicon-doped high-strength cast iron and its application. *Casting processes*/ 2020. 1 (139). 20–29. doi:<https://doi.org/10.15407/plit2020.01.020> [in Ukrainian].
- 14 Bublykov V.B., Bachinsky Y. D., Nesteruk O. P. Increasing the ductility of high-strength cast iron by in-mould modification of the melt with a reduced silicon content. *Casting Processes*. 2023. 3(153). P. 3–11. doi:<https://doi.org/10.15407/plit2023.03.003> [in Ukrainian].

- 15 Yasinsky A.A., Bublikov V.B., Berchuk D.M., Zelenaya L.A., Yasinskaya E.A. Effect of modification method and silicon content on the structure and mechanical properties of high-strength cast iron. *Metal and Casting of Ukraine*. 2015. 6 (265). P. 13–17. Retrieved from <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/162764/03-Yasinsky.pdf?sequence=1>
- 16 Ustimenko A. I., Lukyanenko I.V., Yamshinsky M.M., Guria I.M., Kyvgilo B.V. New heat-resistant alloys for the manufacture of glass moulds. *Casting processes*. 2023. 1 (151). P. 43–53. doi: <https://doi.org/10.15407/plit2023.01.043> [in Ukrainian].
- 17 Kovalchuk A.G., Yamshinskii M.M., Fedorov G. E. Improvement of technological processes of surface alloying of billets in the casting mould. *Metal and Casting of Ukraine*. 2017. T. 8–10, No. 291–293. P. 55–63 [in Russian].
- 18 DSTU ISO 6507-1:2007 Metal materials. Determination of Vickers hardness. Part 1: Test method (ISO 6507-1:2005, IDT), 2007 [in Ukrainian].
- 19 ДСТУ EN ISO 945-1:2022 Microstructure of cast irons. Part 1: Graphite classification by visual analysis, 2022 [in Ukrainian].
- 20 «fimaolimpia.it.» Fima Olimpia Fonderie Spa. Glass sector. Cast iron, [Online]. Available: http://www.fimaolimpia.it/en/area-vetro_ghise.php.

Received 16.02.2024

A. I. Ustymenko, graduate student; e-mail: ustymenko@kpi.ua;

ORCID 0000-0002-5893-6499

I.V. Lukianenko, PhD (Engin.), Associate Professor;

e-mail: lukianenkoiv@gmail.com; ORCID 0000-0002-1043-9688;

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (Kyiv, Ukraine)

THE CASTING MOLD TECHNOLOGY INFLUENCE ON THE HEAT-RESISTANT CAST IRON CASTINGS GRADIENT STRUCTURE FORMATION

The constant development of the glass packaging production process and high-quality requirements necessitate the improvement of the tools and equipment required for production. In the process of manufacturing glass containers, the moulding set operating in difficult conditions is subject to the greatest wear and tear, such as: heating to high temperatures of the surface layer of the working cavity; formation of internal thermal stresses due to the temperature gradient across the cross-section; the thermal shock effect created because of cyclic temperature changes during operation; and mechanical impact on the working cavity of the moulding set from the glass mass, which is due to the peculiarities of the technological process of manufacturing glass containers. The article presents the results of studies of technological features of manufacturing castings from heat-resistant siliceous cast iron to create a directional gradient structure. Metallographic studies and determination of the mechanical properties of individual structural components of the metal matrix were carried out on the obtained samples. Because of the experiments, it was found that the technology variant with the use of an inoculant and a chiller achieved a directional gradient structure in the cast state. It has been determined that the size of graphite inclusions along the cross-section of the casting varies from 6 μm to 570 μm in the area of surface treatment of cast iron and from 29 μm to 1130 μm on the opposite side, which will provide better performance properties compared to a product with a homogeneous structure. It was found that for both technological variants, the formation of a ferrite-pearlite structure was observed in the cast state. The results obtained will be used for further research to ensure that the required structure is obtained after heat treatment or in the cast state without additional heat treatment. This will significantly improve economic performance.

Keywords: moulding steam, glass containers, cast iron, graphite, modification, inoculant, chiller, gradient structure