

6. MAGMA5. URL: <http://www.dial-engineering.ru/magma.html>.

7. He B.F. Application of View Cast Software in Foundry Technique Designing. *Advanced Materials Research*. 2012. Vol. 538. P. 572-575.

8. Li D.Y., Xu Z.Y., Maa X.L., Shi D.Q. Review of current search and application of ductile cast iron quality monitoring technologies in Chinese foundry industry. *China Foundry*, 2015. 12(4).

9. Степашко В.С. Комбинаторный алгоритм МГУА с оптимальной схемой перебора моделей // *Автоматика*. 1981. № 3. С. 31—36.

10. Ивахненко А.Г., Степашко В.С. Помехоустойчивость моделирования. Киев: Наук. думка, 1985. 216 с.

11. Tokova O., Savchenko Ye. Inductive Modelling as a Basis of Informational Support of Decisions in Casting Production. Proc. of the XII IEEE International Conference CSIT-2017 & International Workshop on Inductive Modeling, September 05-08, 2017, Lviv, Ukraine. Lviv: Publisher “Vezha&Co”. P. 507-510.

12. Tokova O.V., Doroshenko V.S., Yanchenko O.B. Computer systems of thermal analysis for monitoring of foundry and metallurgical processes // *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. 2022, № 2. - С. 86-93.

DOI: 10.31649/1999-9941-2022-54-2-86-93.

**Устименко А. І., Лук'яненко І. В., Кивгило Б. В.**

*(КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ)*

**АНАЛІЗ МІКРОСТРУКТУРИ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ДЕТАЛЕЙ СКЛОФОРМИ  
ТА НАПРЯМКИ ПОКРАЩЕННЯ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ СТІЙКОСТІ**

E-mail: [ustymenko@kpi.ua](mailto:ustymenko@kpi.ua)

Формування скляної порожнистої продукції в умовах масового виробництва здійснюється на високопродуктивних склоформувальних лініях способом видування або пресовидування (рис. 1).

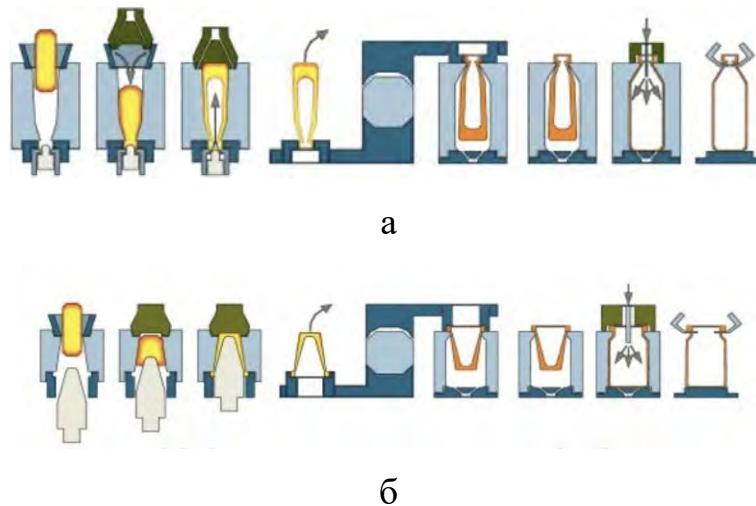


Рис. 1. Процеси формування форми склотари: а – метод подвійного видування; б – метод пресовидування [1]

Аналізуючи інформацію [2], [3], можна стверджувати, що основними технологічними операціями, які виконуються на всіх машинах є:

- 1) подання дозованої краплі гарячого скломатеріалу в чорнову форму (горлом вниз);
- 2) запресування/видування краплі (до стану «пульки») і формування горлової частини тари;
- 3) розкриття чорнової форми та передача «пульки» до чистової форми;
- 4) остаточне формування виробу;
- 5) розкриття чистової форми і охолодження виробу.

Під час роботи деталі формокомплекту піддаються значним термоциклічним навантаженням та повинні витримувати велику кількість циклів (тривалість циклу роботи формокомплекту орієнтовно становить 6-8 с). З підвищенням швидкості роботи склоформувальних машин у масовому виробництві, деталі формокомплекту, що забезпечують формування порожнистої тари, піддаються впливу потужного теплового потоку та механічних навантажень на робочі стінки. Зазначені умови їхньої роботи є причиною формування ряду властивостей, якими повинні володіти деталі, а саме – тепло- та жаростійкість, жароміцність, теплопровідність та високі механічні характеристики. Теплові

навантаження, що впливають на формокомплект, зумовлені дією розплавленого скла (температура видування близько 900-1100 °С), а механічні навантаження – впливом тиску через розплавлений матеріал (компресійний тиск під час видування скловиробу може сягати 2,5-3,0 атм [4]).

В результаті дослідження ринку матеріалів, які використовують для виготовлення деталей формокомплекту, можна відзначити, що серед найуживаніших є бронзи, нержавіючі сталі, нікелеві сплави і навіть композити, але найбільшої популярності набули сірі та ковкі чавуни, адже порівняно з вище вказаними матеріалами вони володіють кращими техніко-економічними характеристиками [4], [5].

Однак, спільним недоліком деталей формокомплекту з графітованих чавунів є структурні трансформації по всьому їх перерізу та вигорання графіту з поверхневого шару, що обумовлено умовами їх експлуатації [4].

Металографічним аналізом відпрацьованих чавунних деталей формокомплекту встановлено, що структура сплаву складається із вкраплин графіту у феритно-перлітній металевій матриці. Дослідження показало, що морфологія графітових вкраплин залежить від призначення склоформи (чорнова – для попереднього видування/випресовування скловиробу; чистова – для формування готового скловиробу) та її робочої зони. На шліфах з відпрацьованих деталей чистового формокомплекту згідно з [5] спостерігається різна морфологія графіту: рівномірно розподілений пластинчастий прямолінійний (рис. 2, зразок 1); пластинчастий завихрений (рис. 2, зразок 2) та дрібний кулястий графіт (рис. 2, зразок 3). Зміна форми графіту від завихреного до гніздоподібного (рис. 2, зразок 2) може бути зумовлена експлуатаційними навантаженнями у робочій зоні та впливом циклічних температурних перепадів, що також впливає на утворення мікропор, які спостерігаються поблизу покриття кромки робочої поверхні (товщина покриття становить близько 0,45 мкм).

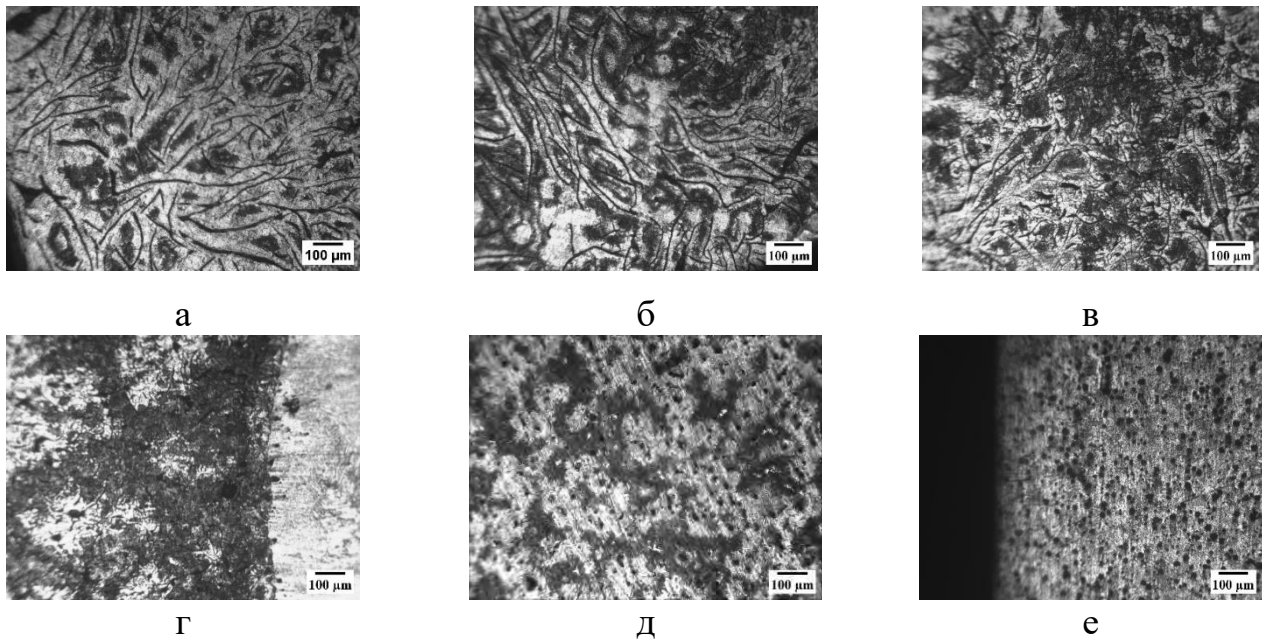


Рис. 2. Мікроструктура шліфів чистової форми (протравлені 4% спиртовим розчином азотної кислоти): зразок 1 (а, б), зразок 2 (в, г), зразок 3 (д, е)

Згідно з [6], морфологія графітових вкраплин у деталях для чорнового формокомплекту (рис. 3) відповідає чавуну з вермикулярною формою графіту. Також спостерігаються мікропори біля робочого шару, що обумовлені викришуванням графітових вкраплин внаслідок агресивного впливу розплавленого скла та високих температур.

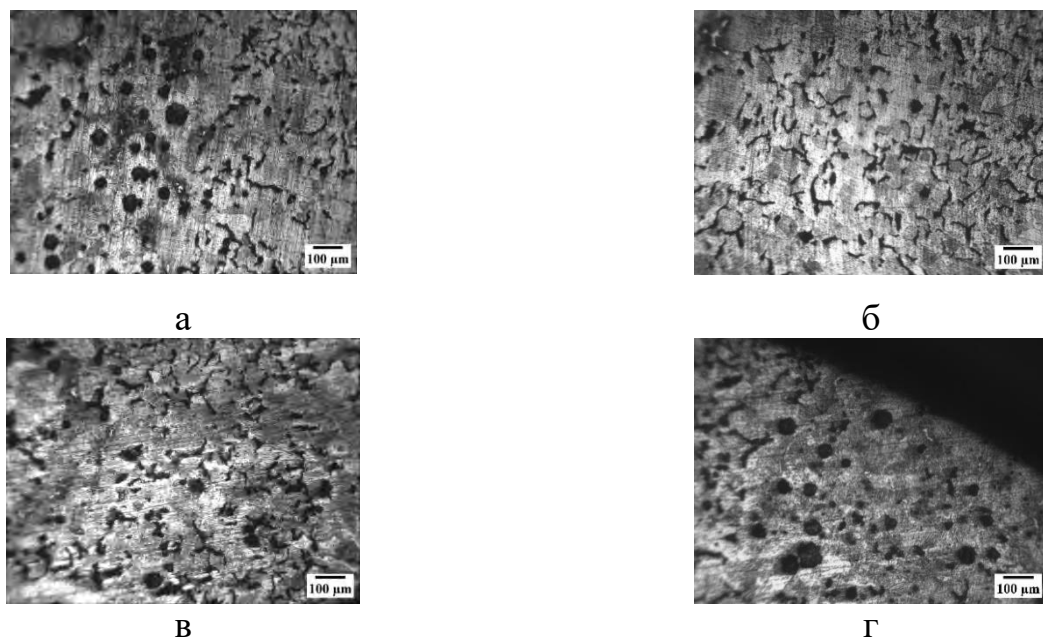


Рис. 3. Мікроструктура шліфів чорнової форми (протравлені 4% розчином азотної кислоти): зразок 1 (а, б), зразок 2 (в, г)

Дослідження мікроструктури чавунних деталей склоформ показало наявність різних структурних трансформацій, в тому числі укрупнення зерен, пошкодження межі їх розділу, що негативно впливає на експлуатаційні характеристики деталей формокомплекту та призводить до виходу їх із ладу.

Одним із способів збільшення терміну експлуатації деталей формокомплекту є забезпечення градієнтної структури у литому стані, яке можна реалізувати різними способами (регулювання швидкості охолодження виливка, застосування спеціальних способів модифікування тощо). Також важливим фактором є забезпечення різної морфології графітових вкраплин по перерізу виливка: дрібні вкраплини графіту кулястої форми у шарі біля поверхні контакту деталі з розплавленим склом, крупні вкраплини вермикулярного графіту в проміжному шарі та пластинчастого графіту в поверхневому шарі. Розроблення технології виготовлення чавунних виливків які б відповідали вищезазначеним вимогам до структури є перспективним шляхом до суттєвого збільшення експлуатаційної стійкості формокомплектів.

#### Література:

1. «Cannapaso,» [Онлайновий]. Available: <https://cannapaso.com/custom-manufacturing-capabilities/glass-container-manufacturing/>
2. Воронов Г. К. Технології виробництва скломатеріалів: конспект лекцій. – Харків: Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова., 2020.
3. Племянніков М. М., Яценко А. П., Пилипенко І. В., Корнілович Б. Ю. Інноваційні технології у виробництві спеціального та побутового скла. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018.
4. Леушин Е. Р., Чистяков И. О., Марфенин Д. Г. Повышение эксплуатационной стойкости деталей чугуновых стеклоформ путем совершенствования технологии их изготовления и контроля / *Труды Нижегородского государственного университета им. Р. Е. Алексеева*, т. 1,

№103. – С 212-224, 2014.

5. L. Hollands, *The Glass to Metal Interface during Container Forming Processes*, The University of Sheffield, March 1998.

6. ГОСТ 3443-87. *Отливки из чугуна с различной формой графита. Методы определения структуры*, 1987.

**Федоров М.М., Дьяченко Ю.Г.**  
*(ДДМА, м. Краматорськ)*

**АДИТИВНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ КОМБІНОВАНИХ  
БЕНТОПОРОШКІВ ДЛЯ ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА**

E-mail: fyodorov@ukr.net, dyachenko.yurij.1978@gmail.com

Як було показано в роботах [1, 2], деякі різновиди перспективних бентонітових глин вітчизняних родовищ, зокрема, бентоніти Григорівського рудника (Донецька обл., Україна), відносно повільно в часі «засвоюють» вологу під час технологічного циклу сумішопріготування, при чому така тенденція зберігається навіть за умов застосування самого передового й потужного змішувального обладнання. Завдяки таким особливостям піщано-бентонітові формувальні суміші досягають необхідних значень технологічних властивостей, а саме міцності, здатності до формування й текучості, за більш тривалий проміжок часу. Якщо даний фактор інертності окремих різновидів бентонітових глин залишати без уваги, то, в кінцевому рахунку, виробнича формувальна суміш не буде відповідати нормативним значенням за більшістю показників технологічних властивостей, що є неприпустимим для високопродуктивного ливарного виробництва на лініях автоматичного формування за сучасними технологіями, зокрема, сейатцу-процесом. При цьому результати вхідного лабораторного контролю для таких різновидів бентопорошків будуть повністю відповідати вимогам діючих стандартів.

В якості основної мети даної роботи було прийнято експериментальне дослідження фізико-механічної активації перспективних зразків бентонітових