

Таким чином, моделювання термодинамічних властивостей рідких сплавів системи Ti–Zr–Hf продемонструвало слабку взаємодію їхніх компонентів. Для сплавів центральної частини концентраційного трикутника переважно від’ємний внесок надлишкової складової енергії Гіббса змішування $\Delta_m G^{ex}$ у загальне значення функції $\Delta_m G$ не перевищує 10 %. Основним фактором, який обумовлює термодинамічну стабільність рідкої фази системи, є внесок ідеальної складової $\Delta_m G^{id}$, який і визначає основні риси температурно-концентраційної залежності енергії Гіббса змішування. Зроблені висновки є важливими для подальшого моделювання фазових рівноваг в системі Ti–Zr–Hf і розрахунку її діаграми стану.

Література:

1. Turchanin, M. A. Thermodynamic Assessment of the Cu-Ti-Zr System. II. Cu-Zr and Ti-Zr Systems / M. Turchanin, P. Agraval, A. Abdulov // Powder Metall. Met. Ceram. – 2008. – Vol. 47, No.7-8. – P. 428-446.
2. Bittermann, H. Critical assessment and thermodynamic calculation of the ternary system boron-hafnium-titanium (B-Hf-Ti) / H. Bittermann, P. Rogl // J. Phase Equilib. – 1997. – Vol. 18, No.1. – P. 24-47.
3. Bittermann, H. Critical assessment and thermodynamic calculation of the ternary system C-Hf-Zr (Carbon-Zirconium-Hafnium) / H. Bittermann, P. Rogl // J. Phase Equilib. – 2002. – Vol. 23, No. 3. – P. 218-235.

Устименко А. І., Лук’яненко І. В.

(КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ)

**ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРИЙОМІВ ДЛЯ УТВОРЕННЯ
ГРАДІЄНТНОЇ СТРУКТУРИ ЧАВУННИХ ДЕТАЛЕЙ
ФОРМОКОМПЛЕКТУ СКЛОТАРНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ**

E-mail: ustymenko@kpi.ua

Дослідження ринку матеріалів формокомплекту склотарної промисловості виокремлює такі найуживаніші матеріали як бронзи, нержавіючі сталі, нікелеві сплави і навіть композити, але найбільшої популярності набули ливарні чавуни, оскільки вироби з них є економічними, доступнішими та простішими у

виробництві [1, 2]. Також, враховуючи термічні навантаження у процесі експлуатації, чавун як матеріал є стійким до виникнення дефектів [3, 4]. У свою чергу, дослідження літературних джерел [3, 5] вказує, що одним з ефективних методів підвищення терміну експлуатації чавунних деталей формокомплекту є створення певної структуризації литої заготовки, а саме забезпечення градієнтної структури за перерізом виливка.

Для створення структуризації за перерізом виливка досліджено два технологічні прийоми із використанням жаростійкого кремнистого чавуну [6]. У першому технологічному прийомі застосовано внутрішньоформове поверхнєве модифікування з використанням інокулятора SB5, подрібненого до фракцій 0315, 04 та 063. У другому, окрім поверхневого модифікування інокулятором SB5 фракції 0315, використано чавунні холодильники різної товщини – 10 мм, 20 мм та 30 мм для підсилення ефекту структуризації.

Встановлено (табл. 1), що розподіл графіту у зразках, виготовлених за першим технологічним варіантом із застосуванням інокуляторів не забезпечує спрямованої градієнтної структури. Зменшені розміри та кількість графітових вкраплень на периферії виливка з обох сторін, порівняно із його центральною частиною (рис. 1, а) погіршують відведення тепла, що призводить до перегрівання та передчасного виходу деталей формокомплекту з ладу.

Результати дослідження технологічного варіанту оброблення розплаву чавуну із додатковим застосуванням холодильника показують, що розміри графітових вкраплень зростають по мірі віддалення від поверхні виливка (рис. 1, б), тобто забезпечується ефект утворення направленої структуризації за перерізом виливка. Найбільш виражений ефект спостерігається у випадку застосування холодильника товщиною 30 мм.

Відповідно, отриманий характер зміни розмірів та кількості графітових вкраплень від поверхні виливка, на якій проведено поверхнєве оброблення, до протилежної, вказує на сформовану градієнтну структуру, що дозволить

забезпечити надійні теплофізичні характеристики за перерізом деталей, які працюють в умовах циклічних температурних навантажень.

Таблиця 1 – Класифікація графітових вкраплень у виготовлених за обома технологічними варіантами зразках згідно з ДСТУ EN ISO 945-1:2022. Мікρο-структура чавунів. Частина 1. Класифікація графіту візуальним аналізуванням

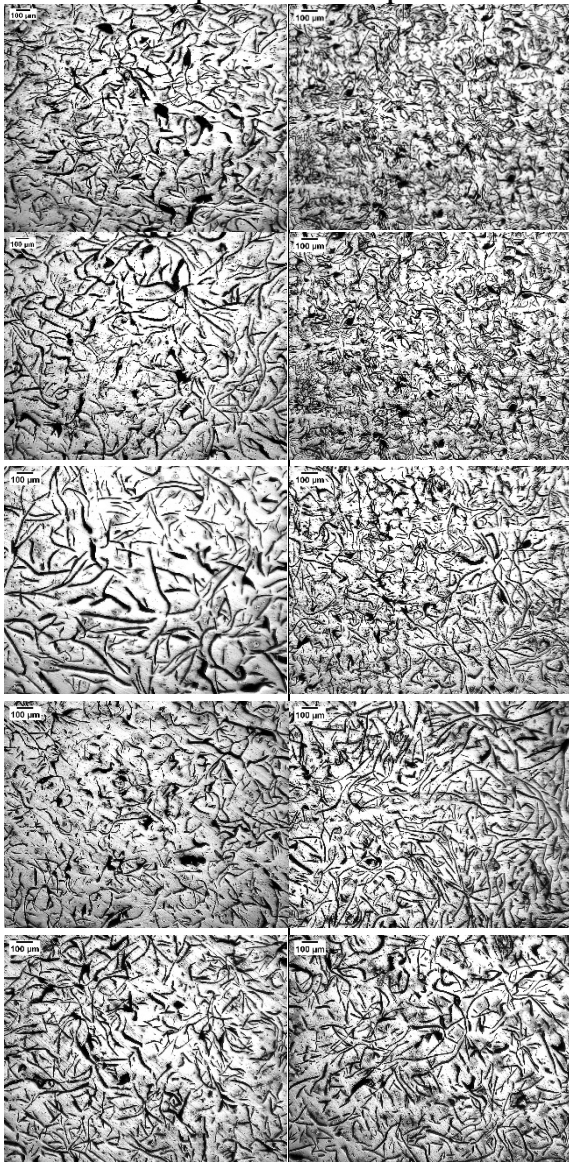
| Категорія | Варіант із застосуванням інокуляторів | Варіант із застосуванням інокулятора та холодильників |
|-----------------------------|---|---|
| за формою | – категорія I за перерізом вилівка (евтектичний пластинчатий графіт з гострими кінцями) | – категорія II в зоні поверхневого оброблення; – категорія I в інших зонах вилівка |
| за розподілом | – категорія C/C' (характеризується сукупністю пластинчатого графіту оточеного хаотично орієнтованими меншими графітовими пластинками) | |
| за розміром | – від 35 мкм до 895 мкм на периферії вилівка з обох сторін; – від 55 мкм до 1200 мкм у центральній частині вилівка | – 6 мкм до 570 мкм на поверхні, яка контактує з холодильником та інокулятором; – 29 мкм до 1130 мкм на периферії |
| за площею зайнятою графітом | – 4-8 % на периферії вилівка; – 10,5 % у центральній частині вилівка | – 6,1 % в зоні поверхневого оброблення; – 9,3 % у центральній частині вилівка; – 10,1 % на периферії вилівка |

Література:

[1] Ю. А. Гуляня, Технология стеклотары и сортовой посуды. Учебник для техникумов. – М.: Легпромбытиздат, 1986. – 264 с.

[2] «fimaolimpia.it,» Fima Olimpia Fonderie Spa.Glass sector.Cast iron, [Онлайновий]. Available: http://www.fimaolimpia.it/en/area-vetro_ghise.php. [Дата звернення: 2024].

зона поверхневого оброблення



протилежна поверхня виливка
(периферія)

а | б

Рис. 1. Морфологія графітових
вкраплень за перерізом виливків,
виготовлених із використанням
інокулятора фракції 063 (а) та з
використанням інокулятора фракції
0315 із холодильником товщиною
30 мм (б)

[3] М. В. Александров, Д. Г. Чистяков.
Формирование градиентной структуры в
деталях стеклоформ из чугунов с различной
морфологией графита // *Металлургия и
материаловедение*, № 3 (100). – с. 219-229,
2013.

[4] И. О. Леушин , Д. Г. Чистяков та
В. А. Володин. Влияние структуры чугуна на
образование эксплуатационных дефектов
склоформирующей оснастки // *Наука и
Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана.
Электрон. журн.*, т. 15, № № 11, с. 111–123,
2015.

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

[6] А. І. Устименко, І. В. Лук'яненко,
М. М. Ямшинський, І. М. Гурія, Б. В. Кивгило
Нові жаростійкі сплави для виготовлення
склоформ // *Процеси лиття*, т. 1, № 151. –
С. 43–53, 2023.