

<https://doi.org/10.15407/plit2026.02.055>

УДК 621.746.3:669.13.018.29:620.178.152

М.В. Матвейшин¹, старш. викладач кафедри Машини і технологія ливарного виробництва; e-mail: nmatveishin@gmail.com; ORCID: 0000-0001-6050-310X

Д.О. Тьомкін², докт. філософії, заступник головного металурга; e-mail: tajdv678@gmail.com; ORCID: 0000-0002-4042-4452

В.Г. Іванов¹, докт. техн. наук, доцент, завідувач кафедри Машини і технологія ливарного виробництва; e-mail: ivanov@zr.edu.ua; ORCID: 0000-0002-9216-3493

¹ Національний університет «Запорізька політехніка» (Запоріжжя, Україна)

² ВП «Запорізький машинобудівний завод імені В.І. Омельченка» (Запоріжжя, Україна)

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОГО ПОКРИТТЯ НА МІКРОСТРУКТУРУ І ТВЕРДІСТЬ ВІДЦЕНТРОВИХ ВИЛИВКІВ ЗІ СПЕЦІАЛЬНИХ ЧАВУНІВ

Досліджено вплив фізико-хімічних параметрів теплоізоляційного покриття на процеси структуроутворення та формування твердості відцентрових заготовок зі спеціального чавуну, легованого хромом, титаном і вольфрамом. На основі промислових випробувань встановлено закономірності впливу густини та складу покриття на кінетику тепловідводу в системі «виливок–форма». За допомогою оптико-емісійного спектрального аналізу та металографічних досліджень при збільшенні $\times 100$ та $\times 500$ проаналізовано фазовий склад робочої зони заготовок. Встановлено, що для чавуну, легованого хромом, титаном та вольфрамом, швидкість охолодження є визначальним фактором стабілізації перлітної матриці. Показано, що занижена густина покриття (менше $1,30 \text{ г/см}^3$) призводить до інтенсивного тепловідведення, що зміщує фазову рівновагу в бік утворення структурно-вільного цементиту (відбілу), тоді як надмірна густина (понад $1,33 \text{ г/см}^3$) та підвищений вміст рідкого скла спричиняють уповільнену кристалізацію та формування феритної складової, що не відповідає вимогам ОСТ 1 90079-72. Наукова новизна роботи полягає у встановленні кількісної залежності між густиною теплоізоляційного шару та зміщенням рівноваги в системі «перліт–ферит–цементит», що дозволило визначити критичні межі теплопровідності покриття для відцентрового лиття. Визначено оптимальний інтервал густини суспензії ($1,30\text{--}1,33 \text{ г/см}^3$), що забезпечує отримання стабільної перлітної структури та нормативної твердості ($302\text{--}255 \text{ НВ}$). Практична цінність результатів полягає у розробці технологічних рекомендацій щодо складу теплоізоляційного покриття, які дозволяють стабілізувати якість циліндричних заготовок, знизити відсоток браку за структурою та коригувати режими лиття спеціальних чавунів із підвищеною схильністю до карбідоутворення.

Ключові слова: поршневе кільце, спеціальний чавун, відцентрове лиття, теплоізоляційне покриття, мікроструктура, твердість.

Стаття опублікована на умовах відкритого доступу за ліцензією CC BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Вступ

Поршневі кільця належать до групи відповідальних деталей двигунів внутрішнього згоряння, авіаційних газотурбінних двигунів, а також наземних газотурбінних установок. До матеріалу цих деталей висуваються суворі вимоги щодо зносостійкості, жароміцності, твердості і стабільних пружних властивостей. Забезпечення зазначених експлуатаційних характеристик безпосередньо пов'язане з формуванням мікроструктури металу, зокрема зі створенням стабільної перлітної матриці з рівномірним розподілом графітової фази [1, 2].

Однією з найбільш ефективних технологій отримання заготовок для поршневих кілець є метод відцентрового лиття циліндричних заготовок, який переважно реалізується на машинах із горизонтальною віссю обертання. Як показано у працях [3, 4], застосування цього способу забезпечує підвищену гідродинамічну щільність розплаву, зменшення кількості ливарних дефектів та ефективне видалення неметалевих включень у внутрішню зону виливка, що позитивно впливає на якість металу в робочій зоні заготовки. Дослідження морфології графітової фази у відцентрових литих заготовках свідчать про істотний вплив її розподілу на механічні та експлуатаційні властивості поршневих кілець [3, 5].

Маслоушільнювальні поршневі кільця, що працюють у зазначених умовах, виготовляють переважно зі спеціального чавуну, легованого хромом, титаном і вольфрамом, хімічний склад і структуру якого регламентують вимоги ОСТ 1 90079-72. Особливістю цього матеріалу є поєднання високої жароміцності з необхідним рівнем пружності, що досягається в результаті формування стабільної перлітної структури з рівномірним розподілом графіту.

Проблема стабілізації структури набуває особливої гостроти при використанні синтетичних чавунів, що їх отримують шляхом легування сталі вуглецем без використання первинних чавунів доменного виробництва [6]. Такі сплави мають підвищену схильність до карбідоутворення та високу чутливість до швидкості охолодження, що вимагає суворого контролю температурно-технологічних параметрів плавлення та заливки [7, 8].

Додатковим фактором, який визначає тепловий баланс заготовки, є її геометрія. Типове поршневе кільце має товщину близько 1,2 мм, тоді як циліндрична заготовка (рис. 1) виготовляється з істотними припусками на механічну обробку: зовнішнім $l = 6-8$ мм та внутрішнім $l_1 = 4-8$ мм. Такі припуски необхідні для виведення ліквідаційних зон і газових включень за межі робочої ділянки, проте значна маса припуску створює додаткову теплову інерцію та сповільнює охолодження металу. Водночас з однієї циліндричної заготовки вирізають 19-22 готових кільця, що забезпечує високу ефективність використання матеріалу.

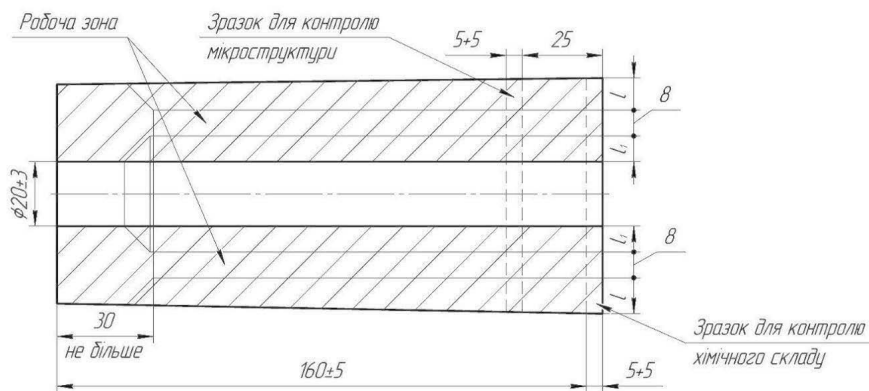


Рис. 1. Ескіз відцентрової циліндричної заготовки

Якість робочої зони заготовки визначає комплексна дія кількох чинників: поле відцентрових сил, хімічний склад чавуну та перш за все теплофізичні умови кристалізації. Будь-які відхилення у швидкості охолодження призводять до порушення

фазової рівноваги: формування структурно-вільного цементиту спричиняє підвищену крихкість виробів, тоді як надмірний вміст фериту зумовлює втрату пружних властивостей та зниження експлуатаційної надійності поршневих кілець [4].

В умовах відцентрового лиття основним інструментом керування тепловідводом є нанесення теплоізоляційних покриттів на робочу поверхню виливниць. Незважаючи на значний практичний досвід їх використання, кількісний вплив складу та густини таких покриттів на зміщення фазової рівноваги у робочій зоні циліндричної заготовки зі спеціального чавуну залишається недостатньо висвітленим у наукових публікаціях. Це ускладнює забезпечення стабільної перлітної структури та відповідності властивостей вимогам ОСТ 1 90079-72.

Метою даної роботи є встановлення закономірностей впливу складу та густини теплоізоляційного покриття виливниць на формування фазового складу, мікроструктури й твердості робочої зони заготовки зі спеціального чавуну, отриманих методом відцентрового лиття.

Матеріали і методи

Дослідження проводили в промислових умовах при виготовленні циліндричних заготовок для поршневих кілець. Для плавки використовували індукційну тигельну піч середньої частоти ІСТ-0,16 місткістю 160 кг з кислотою футерівкою. Склад шихти для плавки чавуну подано в табл. 1.

Таблиця 1
Шихта для виплавки спеціального чавуну

Склад шихти	Масова частка, %
Бій графітових електродів	0,5
Пруток титану ВТ1-0 Ø20	0,1
0Вольфрам металевий	0,3
Сталь 09А	10,1
*Чавун ливарний ЛЗ	36,8
Вороття спеціального чавуну	50,0
Феромарганець ФМН88	0,6
Ферохром ФХ010А	0,4
Феросиліцій ФС45	0,2
Ферофосфор ФФ25-2	1,0
Всього	100,0

*Допускається заміна чавуну ливарного ЛЗ на вороття чавуну СЧ150

Перед заливкою циліндричних заготовок на виливниці наносили теплоізоляційне покриття, яке забезпечує захист форми від взаємодії з розплавленим металом та теплоізоляцію виливка — усунення відбілу й стабілізацію структури металу.

Товщину шару протипригарного покриття визначали непрямым методом за об'ємом витраченого покриття та площею робочої поверхні виливниці. Контроль витрати здійснювали за показами витратомірів при нанесенні покриття.

Розрахункову товщину шару визначали як відношення об'єму нанесеного покриття до площі поверхні, що покривалася. У середньому товщина шару становила 1–3 мм залежно від густини та режиму нанесення.

Отримані значення товщини узгоджуються з візуальною оцінкою масивності

покриття, що проявляється у характері його збереження на поверхні циліндричної заготовки після вилучення з виливниці. Склад теплоізоляційного покриття подано в табл. 2.

Таблиця 2
Склад теплоізоляційного покриття

Склад суміші	Кількість
Кварц мелений пилоподібний	2,0–2,20 кг
Графіт чорний пилоподібний	0,7–0,75 кг
Рідке скло	0,1–0,11 кг
Емульсія з каолінової глини ПЛК-1	6,0–7,0 л
Густина теплоізоляційного покриття	1,28–1,35 г/см ³

Попередній розігрів виливниць здійснювали за допомогою «холостих» заливок циліндричних заготовок до досягнення робочої температури ($\approx 350^\circ\text{C}$). Нанесення теплоізоляційного покриття на внутрішню робочу поверхню розігрітих виливниць проводилось перед кожною заливкою за допомогою спеціального пульверизатора пневматичної дії, що забезпечувало рівномірність та стабільну товщину шару фарби. Контроль густини підготовленої суспензії здійснювали безпосередньо перед нанесенням за допомогою ареометра, що дозволяло оперативно коригувати густину покриття з точністю до 0,01 г/см³.

Під час заливання проводилось ковшове модифікування комплексом, що включає:

- графіт чорний пилоподібний у кількості 0,05–0,1 %;
- феросиліцій з барієм ФС65Ба5 у кількості 0,05–0,1 %.

Температура заливання підтримувалася на рівні $1400 \pm 10^\circ\text{C}$.

Дослідження проводили в умовах однієї плавки спеціального чавуну. Для кожного значення густини протипригарного покриття виготовляли по три циліндричні заготовки, що розглядалися як окрема серія зразків. Таким чином, для кожного варіанта густини покриття забезпечувалась повторюваність результатів на трьох незалежних виливках.

Контроль макроструктури циліндричних заготовок здійснювали по зламу окремо відлитої клинкової проби [9]. Злам має бути матово-сірого кольору, величина відбілу не перевищувати 5 мм.

Визначення хімічного складу циліндричних зразків чавуну здійснювали за допомогою емісійного спектрометра SPECTROMAKS, а вміст вуглецю та сірки уточнювали на експрес-аналізаторах АН-7529 та АС-7932. Вміст хімічних елементів у зразках дослідного чавуну відповідав вимогам ОСТ 1 90079-72 та подано в табл. 3.

Таблиця 3
Хімічний склад дослідного чавуну

Вміст хімічного елементу, мас частка, %										
С		Mn	Si	P	Cr	Ti	W	Ni	Cu	S
загальний	зв'язаний									
2,8–3,5	0,65–1,0	1,0–1,5	1,7–2,2	0,4–0,7	0,4–0,7	0,15–0,3	0,5–1,0	до 0,4	до 0,5	до 0,1

Охолодження виливків після вилучення з виливниць відбувалось на піддоні з піском у відповідній ділянці цеху.

Після відрізки зразка для контролю мікроструктури (рис. 1) на торцевій поверхні робочої зони заготовки визначали твердість за методом Брінелля при навантаженні 3000 кгс та діаметрі кульки 10 мм. Значення твердості повинно становити 302–255 НВ.

Металографічний аналіз мікроструктури проводили на оптичному мікроскопі типу МІМ-10 при збільшеннях до $\times 500$. Підготовку шліфів здійснювали за стандартною методикою. Для визначення складових металевої матриці (перліту, фериту та карбідів) шліфи піддавали травленню у 7-процентному розчині азотної кислоти (Nital). Форму виділення графіту визначали на нетравленому шліфі.

Оцінку структури (наявність перліту, фериту та карбідів) здійснювали відповідно до вимог ОСТ 1 90079-72 на шліфах, вирізаних із робочої зони заготовок після видалення припусків. Основні вимоги до заготовок зі спеціального чавуну за цим стандартом подано в табл. 4.

Таблиця 4
Мікроструктура циліндричних заготовок зі спеціального чавуну

Основні ознаки мікроструктур	ОСТ 1 90079-72		
	Відповідність	Не відповідність	Загальний показник структури
Поступово розподілений пластиноподібний графіт	+	–	Графіт
Пластинчастий перліт	+	–	Перліт
Подвійна фосфідна евтектика	+	–	Фосфідна евтектика
Невелика кількість дрібногніздоподібної феритної псевдоевтектики	+	–	Ферит
Потрійна фосфідно-карбідна евтектика (до 40 % від загальної кількості фосфідів)	+	–	Цементит (карбіди)
Структурно вільний ферит	–	+	Ферит
Скупчення структурно вільних карбідів та потрійної фосфідно-карбідної евтектики	–	+	Цементит (карбіди)

Результати і обговорення

За результатами проведених досліджень було встановлено чітку кореляцію між фізико-механічними параметрами теплоізоляційного покриття та кінцевими властивостями спеціального чавуну у робочій зоні заготовок (рис. 2). Отримані дані щодо твердості представлені у таблиці табл. 5.

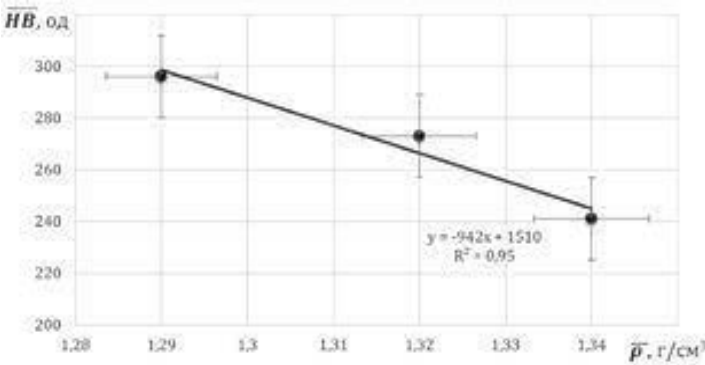


Рис. 2. Вплив питомої ваги теплоізоляційного покриття на твердість дослідних заготовок

Таблиця 5

Результати дослідження

Дослідний зразок	Твердість НВ, од			$\overline{HB}$, од	Густина теплоізоляційного покриття, г/см ³			$\overline{\rho}$, г/см ³
	1	2	3		1	2	3	
1	296	295	297	296	1,28	1,29	1,29	1,29
2	265	273	280	273	1,32	1,32	1,31	1,32
3	240	241	242	241	1,34	1,35	1,34	1,34

Загалом при відцентровому литті чавунних циліндричних заготовок утворюються структури Перліт + Ферит + Цементит (табл. 4).

Відомо [10], що шар теплоізоляційного покриття різко уповільнює теплопередачу від залитого металу до виливниці. Унаслідок цього чавун твердне за стабільною системою з утворенням перлітної структури.

Проведені дослідження показали, що при використанні теплоізоляційного покриття, зазначеного в табл. 2, товщина покриття залежить від кількості рідкого скла та густини теплоізоляційного покриття.

Так, при підвищеному вмісті рідкого скла і густини теплоізоляційного покриття, в межах 1,33–1,35 г/см³, при вилученні заготовки з виливниці покриття повністю знаходиться на поверхні заготовки, чим знижує відведення тепла. Знижене теплоперенесення сприяє зсуву утворення структури в робочій зоні виливки в область фериту, що призводить до невідповідності виливків вимогам ОСТ 1 90079-72 щодо заниженої твердості та мікроструктури.

Наявність щільного теплоізоляційного покриття на поверхні виливка призводить до різкого зниження ріжучої здатності інструмента при механічній обробці.

При зниженому вмісті рідкого скла та густини теплоізоляційного покриття, в межах 1,28–1,30 г/см³, при витягуванні заготовки з виливниці покриття повністю залишається у виливниці, що значно збільшує відведення тепла від циліндричної заготовки. Збільшене теплоперенесення сприяє зсуву утворення структури в робочій зоні заготовки кілець (рис. 2) в область цементиту, що також призводить до невідповідності виливків вимогам ОСТ 1 90079-72 щодо завищеної твердості та мікроструктури (рис. 3, а).

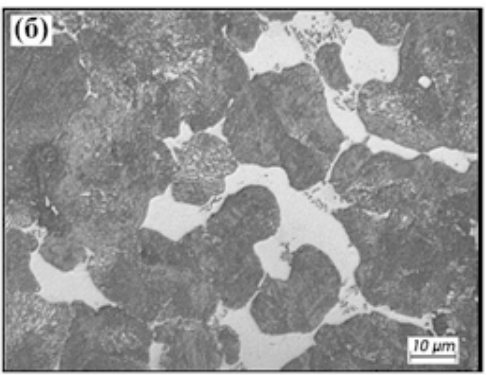
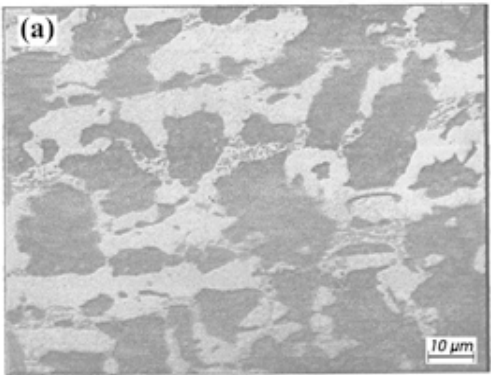


Рис. 3. Мікроструктура зразків спеціального чавуну: а — пластинчастий перліт, потрійна фосфідно-карбідна евтектика та структурно вільний цементит, що не відповідають вимогам ОСТ 1 90079-72; б — пластинчастий перліт, потрійна фосфідно-карбідна евтектика, що відповідають вимогам ОСТ 1 90079-72

При вмісті рідкого скла 0,1–0,11 кг (табл. 2) і густини теплоізоляційного покриття в межах 1,30–1,33 г/см³ при вилученні заготовки з виливниці покриття обсіпається з поверхні заготовки в міру її вилучення з виливниці і зонально залишається на її поверхні.

У даному випадку в робочій зоні заготовки (рис. 3, б) структура буде в основному перлітна. Мікроструктура та твердість у робочій зоні виливка відповідатиме вимогам ОСТ 1 90079-72.

Однак на відповідність виливка вимогам ОСТ 1 90079-72 також впливатимуть: температура виливниці, ступінь насиченості (вміст вуглецю та кремнію) [11], карбідоутворювальних, використання первинних чавунів, величини відбілу на клиноподібній пробі [9, 10] і температури заливки.

Зауважимо, що проведення відпалу виливків із цементитом призводить до утворення неприпустимої феритної структури [10].

При проведенні плавки на синтетичному чавуні з хімічним складом відповідним ОСТ 1 0079-72, при вилученні циліндричних заготовок в теплоізоляційному покритті, в робочій зоні заготовки переважає метастабільний стан на основі цементиту й підвищена твердість, що не відповідає вимогам нормативної документації та вимагає заходів зі значного зниження швидкості охолодження виливка.

Висновки

Кількість рідкого скла у складі суспензії і густина теплоізоляційного покриття впливають на відповідність мікроструктури і твердості циліндричної заготовки нормативній документації. Оптимальними для теплоізоляційного покриття є: рідке скло 0,1–0,11 кг, густина покриття 1,30–1,33 г/см³.

При проведенні плавки на синтетичному чавуні (чавун, отриманий при легуванні сталі вуглецем без використання природних чавунів) необхідно вирішувати питання про зниження швидкості охолодження виливків, підвищення вуглецевого еквіваленту та інше.

Список літератури

- 1 Іванов В.Г., Матвейшин М.В. Вдосконалення технологічних параметрів виробництва поршневих кілець зі спеціальних сірих чавунів. Тижень науки-2023. Інженерно-фізичний факультет: тези доповідей науково-технічної конференції. Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2023. С. 28–29.
- 2 Борисенко А.Ю., Барановська О.Є. Дослідження впливу технологічних факторів виробництва на структуру та твердість литих заготовок поршневих кілець із сірого чавуну. *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії*. 2025. Вип. 39. С. 246–263. DOI: <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2025-39-14>
- 3 Іванов В.Г., Матвейшин М.В. Аналіз графітової фази у відцентрових заготовках з високоміцного чавуну. *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*. 2023. № 2. С. 26–31. DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-6885-2023-2-4>
- 4 Gunara S., Kusnowo R. Design and manufacture of cylindrical rings using the centrifugal casting method as an alternative to improving the quality of cast products. *Dinamika Teknik Mesin*. 2019. Vol. 9, No. 2. P. 140–146. DOI: <https://doi.org/10.29303/dtm.v9i2.294>
- 5 Florenciano J. T. O., Ambrosi A., Hotza D., González S. Y. G. Understanding centrifugal casting in the manufacture of functionally graded materials. *Journal of the European Ceramic Society*. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2022.08.042>
- 6 Сіренко К.А. Розвиток виробництва лиття з синтетичного чавуну. *Метал та лиття України*. 2021. Т. 29, № 3. С. 79–86. DOI: <https://doi.org/10.15407/steelcast2019.10.064>
- 7 Сіренко К.А., Мазур В.Л. Ідеологія коригування хімічного складу синтетичного чавуну в процесі виготовлення литва. *Метал та лиття України*. 2021. Т. 29, № 4. С. 30–40. DOI: <https://doi.org/10.15407/scin15.04.005>
- 8 Hubynskyi M.V., Merkulov O.Y., Sybir A.V., Fedorov S.S., Hubynskyi S.M., Foris O.M., Dudchenko S.O., Dzhygota M.H. Determination of the mechanical properties of synthetic cast iron when using carburiser obtained by electrothermal fluidised bed. *Fundamental and Applied Problems of Ferrous Metallurgy*. 2024. No. 38. P. 26–38. DOI: <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2024-38-26-38>

- 9 Pham H. N. T. Effect of heat retention time and pouring temperature on graphite shape and mechanical properties of gray cast iron. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*. 2020. Vol. 6, No. 5. P. 838–844. DOI: <http://doi.org/10.25046/aj0506100>
- 10 Мазур В.Л., Найдек В. Л., Попов Є.С. Порівняння чавунних і композиційних з чавунними вставками гальмових колодок для рухомого складу залізниці. *Метал та лиття України*. 2021. Т. 29, № 2. С. 80–89. DOI: <https://doi.org/10.15407/steelcast2021.02.080>
- 11 Сіренко К.А. Ливарне виробництво: невирішені задачі та перспективи розвитку. Перспективні технології, матеріали й обладнання в ливарному виробництві: матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції. Краматорськ: ДДМА, 2021. С. 109–111.

References

- 1 Ivanov, V.G., & Matveishyn, M.V. (2023). Improvement of technological parameters for the production of piston rings from special gray cast irons. In *Science Week–2023. Engineering and Physics Faculty: Proceedings of the Scientific and Technical Conference* (pp. 28–29). Zaporizhzhia: Zaporizhzhia Polytechnic National University [in Ukrainian].
- 2 Borysenko, A.Yu., & Baranovska, O.Ye. (2025). Investigation of the influence of technological production factors on the structure and hardness of cast blanks of piston rings made of gray cast iron. *Fundamental and Applied Problems of Ferrous Metallurgy*, 39, 246–263. <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2025-39-14> [in Ukrainian]
- 3 Ivanov, V. G., & Matveishyn, M. V. (2023). Analysis of the graphite phase in centrifugally cast blanks made of high-strength cast iron. *New Materials and Technologies in Metallurgy and Mechanical Engineering*, (2), 26–31. <https://doi.org/10.15588/1607-6885-2023-2-4> [in Ukrainian]
- 4 Gunara, S., & Kusnowo, R. (2019). Design and manufacture of cylindrical rings using the centrifugal casting method as an alternative to improving the quality of cast products. *Dinamika Teknik Mesin*, 9(2), 140–146. <https://doi.org/10.29303/dtm.v9i2.294>
- 5 Florenciano, J. T. O., Ambrosi, A., Hotza, D., & González, S. Y. G. (2022). Understanding centrifugal casting in the manufacture of functionally graded materials. *Journal of the European Ceramic Society*. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2022.08.042>
- 6 Sirenko, K. A., & Mazur, V. L. (2021). Ideology of chemical composition adjustment of synthetic cast iron in casting production. *Metal and Casting of Ukraine*, 29(4), 30–40. <https://doi.org/10.15407/scin15.04.005>
- 7 Sirenko, K. A., & Mazur, V. L. (2021). Ideology of chemical composition adjustment of synthetic cast iron in casting production. *Metal and Casting of Ukraine*, 29(4), 30–40. <https://doi.org/10.15407/scin15.04.005>
- 8 Hubynskyi, M.V., Merkulov, O.Y., Sybir, AV., Fedorov, S. S., Hubynskyi, S. M., Foris, O.M., Dudchenko, S.O., & Dzhygota, M.H. (2024). Determination of the mechanical properties of synthetic cast iron when using carburiser obtained by electrothermal fluidised bed. *Fundamental and Applied Problems of Ferrous Metallurgy*, (38), 26–38. <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2024-38-26-38>
- 9 Pham, H. N. T. (2020). Effect of heat retention time and pouring temperature on graphite shape and mechanical properties of gray cast iron. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, 6(5), 838–844. <http://doi.org/10.25046/aj0506100>

- 10 Mazur, V. L., Naidek, V. L., & Popov, Ye. S. (2021). Comparison of cast iron and composite brake pads with cast iron inserts for railway rolling stock. *Metal and Casting of Ukraine*, 29(2), 80–89. <https://doi.org/10.15407/steelcast2021.02.080> [in Ukrainian].
- 11 Sirenko, K. A. (2021). Foundry production: unresolved problems and development prospects. In *Advanced technologies, materials and equipment in foundry production: Proceedings of the VIII International Scientific and Technical Conference* (pp. 109–111). Kramatorsk: Donbas State Engineering Academy [in Ukrainian].

Одержано / Received 20.02.2026

Прийнято / Accepted 01.05.2026

Опубліковано / Published 29.05.2026

UDC 621.746.3:669.13.018.29:620.178.152

M. Matveishyn¹, Senior lecturer of the Department of Foundry Machines and Technology; e-mail: nmatveishin@gmail.com; ORCID: 0000-0001-6050-310X

D. Tomkin², PhD (Engin), Deputy of head metallurgist; e-mail: tajdv678@gmail.com; ORCID: 0000-0002-4042-4452

V. Ivanov¹, Dr. Sc., Associate Professor, Head of the Department of Foundry Machines and Technology; e-mail: ivanov@zp.edu.ua; ORCID: 0000-0002-9216-3493

¹ National University «Zaporizhzhia Polytechnic» (Zaporizhzhia, Ukraine)

² SU «Zaporozhye Machine-Building Plant them. V. I. Omelchenko» (Zaporizhzhia, Ukraine)

INFLUENCE OF THERMAL INSULATION COATING PARAMETERS ON THE MICROSTRUCTURE AND HARDNESS OF CENTRIFUGAL SPECIAL CAST IRON

The influence of the physicochemical parameters of thermal insulation coatings on the structure formation and hardness development of centrifugal castings made of special cast iron alloyed with chromium, titanium, and tungsten has been investigated. Based on industrial trials, the regularities of the effect of coating density and composition on the heat dissipation kinetics within the «casting–mold» system have been established. Using optical emission spectral analysis and metallographic studies at magnifications of $\times 100$ and $\times 500$, the phase composition of the casting's working zone was analyzed. It was found that for cast iron alloyed with chromium, titanium, and tungsten, the cooling rate is the decisive factor in stabilizing the pearlitic matrix. It is shown that a low coating density (less than 1.30 g/cm^3) leads to intensive heat dissipation, which shifts the phase equilibrium toward the formation of structural free cementite (chill formation). Conversely, excessive density (above 1.33 g/cm^3) and increased sodium silicate content cause delayed crystallization and the formation of a ferritic component, which does not meet the requirements of the OST 1 90079-72 standard. The scientific novelty of the work lies in establishing a quantitative relationship between the density of the thermal insulation layer and the equilibrium shift in the «pearlite–ferrite–cementite» system, allowing for the determination of the critical limits of coating thermal conductivity for centrifugal casting. The optimal range of suspension density ($1.30\text{--}1.33 \text{ g/cm}^3$) was determined, ensuring a stable pearlitic structure and standard hardness ($302\text{--}255 \text{ HB}$). The practical value of the results lies in the development of technological recommendations for the composition of thermal insulation coatings, which allow for stabilizing the quality of cylindrical castings, reducing the scrap rate due to structural defects, and adjusting the casting modes for special cast irons with a high tendency toward carbide formation.

Keywords: piston ring, special cast iron, centrifugal casting, thermal insulation coating, microstructure, hardness.