

К.А. Сіренко, канд. техн. наук, заст. зав. відділу, e-mail: thermoexp.metal@gmail.com,<https://orcid.org/0000-0003-2613-8094>**В.Л. Мазур**, чл.-кор. НАН України, д-р техн. наук, проф., гол. наук. співр., e-mail: prof.vlm@ukr.net,<https://orcid.org/0000-0001-8970-5389>

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

Виявлення прихованих дефектів на поверхні ливарних виробів

Розглянуто особливості національного стандарту України ДСТУ 9051:2020 «Виливки з чавуну та сталі. Дефекти. Терміни та визначення понять». Проаналізовано прийняту у цьому стандарті класифікацію дефектів на поверхні виливків з позицій можливостей виявлення прихованих порушень цілісності поверхневих шарів металу і рекомендацій щодо упередження розвитку цих дефектів ливарних виробів у процесі їх експлуатації. У процесі розвитку зазначеного стандарту для підвищення його інформативності запропоновано доповнити визначення причин і механізму утворення дефектів на поверхні виливків фотографіями мікроструктури поверхневого шару металу в місцях залягання дефектів. Показано недостатність висвітлення теми упередження дефектів поверхні виливків з чавуну та сталі у сучасній технічній літературі. На прикладі виробництва і експлуатації гальмівних колодок залізничного транспорту показана актуальність опрацювання в науковому і виробничому аспектах теми упередження дефектів на поверхні гальмівних колодок у зв'язку з їх негативним впливом на утворення повзунів, раковин, наварів, інших дефектів на поверхні коліс рухомих засобів та залізничних рейок. Зазначене суттєво погіршує техніко-економічні показники діяльності не тільки ливарних підприємств, а й діяльність споживачів ливарної продукції, зокрема залізниці. Показано неефективність гальмування виливків для виявлення і видалення дефектів на їх поверхні порівняно з дробоструменевою обробкою. Показано необхідність застосування дробоструменевої (дробометної) обробки литва при виготовленні продукції відповідального призначення. Відповідно до практики ливарних підприємств для дробометної обробки цих виробів ефективно застосування круглого сталевого дробу діаметром 1,8–3,2 мм. Надано рекомендації щодо обов'язкової дробометної обробки чавунних гальмівних колодок при їх виготовленні. У технічних умовах на чавунні гальмівні колодки рухомого складу залізниці необхідно регламентувати вимоги відносно дробометної обробки їх поверхні для виявлення і видалення прихованих дефектів.

Ключові слова: ливарне виробництво, виливки з чавуну і сталі, дефекти поверхні, способи виявлення, дробоструменова обробка.

На ливарну галузь України покладена відповідальна задача, яка полягає у забезпеченні інфраструктури держави у повоєнний період якісними металовиробами широкого асортименту. Ця галузь спроможна у короткий період часу суттєво збільшити обсяги виробництва високоякісної металопродукції необхідного призначення [1]. Ливарні підприємства України мають досвід виробництва литва із чавуну, сталі, кольорових металів різних марок з необхідними механічними властивостями і заданою якістю поверхні. Сучасна технологія виплавлення чавуну і сталі в індукційних печах дозволяє виготовляти ливарні вироби високої якості. При цьому в процесі виробництва виливків одне із основних завдань полягає у виявленні дефектів на поверхні литва, у їх запобіганні та усуненні. Підприємствами узагальнено напрацювання в питанні упередження дефектів на поверхні виливків з чавуну та сталі. Але недостатньо вивченими і слабо

реалізованими у промисловій практиці залишаються технологія і способи виявлення прихованих дефектів на поверхні виливків.

Невиявлені у процесі виробництва дефекти на поверхні виливків зазвичай розкриваються при експлуатації ливарних виробів. Наприклад, дефекти на поверхні кочення колісних пар залізничних рухомих засобів, а саме повзуни, вищербини, навари та інші створюють суттєві динамічні навантаження на систему «гальмівна колодка—колесо—залізнична рейка», що призводить до розвитку дефектів вже на поверхні кочення коліс та залізничних рейок. За результатами досліджень, наведених в технічній літературі, амплітуда динамічних ударних навантажень, що виникають при контактуванні повзуна на поверхні колеса з поверхнею залізничної рейки, може у разі перевищувати статичні навантаження у цій системі.

Робочі поверхні гальмівних колодок залізничного

транспорту у процесі експлуатації входять у фрикційний контакт з поверхнями кочення коліс рухомих засобів, які контактують також із залізничними рейками. Саме тому вироблені литвом чавунні гальмівні колодки повинні бути очищені від формувально-глинистої маси та металізованого пригару. Згідно з вимогами стандартів і технічних умов на чавунні гальмівні колодки на їх поверхні не допускаються тріщини, які виявляються візуально, без застосування оптичних засобів. На поверхні колодок допускається залишати деякі дефекти, які не зменшують міцність цих виробів та зносостійкість їх поверхні у процесі експлуатації. Зокрема окремі газові раковини обмежених розмірів, що не співпадають в одному поперечному перетині, поверхневі утяжини на робочій поверхні колодок глибиною не більше допустимих значень тощо.

Візуальний контроль поверхні виливків, у тому числі гальмівних колодок залізничного транспорту, не надає стовідсоткової гарантії відносно виявлення усіх, особливо прихованих дефектів. Тому у промисловій практиці ливарних підприємств для очищення поверхні від пригарів та інших забруднень використовують галтування та дробоструменеву обробку виливків. Зазначені способи обробки поверхні виливків не є рівнозначними з позицій технічного ефекту, який забезпечують. Зокрема, галтування чавунних гальмівних колодок залізничного транспорту не виявляє усі приховані дефекти (раковини та інші) на їх поверхні. Галтування маскує, загладжує поверхневі дефекти. Галтування не дозволяє видаляти пригари у важкодоступних місцях колодок. Зокрема, всередині гребня гребневих колодок та у пазах робочих поверхонь колодок інших конструкцій тощо.

Ефективним рішенням виявлення і видалення прихованих дефектів на поверхні виливків є дробоструменева (дробометна) обробка виливків з чавуну та сталі, у тому числі й чавунних гальмівних колодок залізничного транспорту. Необхідно підкреслити, що технологія виробництва гальмівних чавунних колодок має передбачати обов'язкову дробометну обробку для забезпечення високої їх якості. Окрім очищення колодок від формувальної суміші у вигляді пригарів та виявлення прихованих дефектів дробометна обробка певною мірою здійснює деформаційне зміцнення і утворення бажаного мікрорельєфу поверхні. Аналогічний ефект спостерігається, наприклад, при дробоструменевій насічці валків станів холодної прокатки тонкоштабової сталі та жерсті. В роботі [2] детально розглянуто вимоги до чавунного і сталевго дробу, який застосовують у дробометній обробці різних поверхонь. Виробнича практика ливарних підприємств свідчить, що кращі результати очищення виливків досягаються при використанні кулевидного сталевго дробу діаметром 1,8—3,2 мм.

Терміни та визначення понять стосовно дефектів виливків з чавуну та сталі представлені у ДСТУ 9051:2020. Результати досліджень причин виникнення, механізму утворення, способів запобігання і виправлення дефектів на поверхні виливків, й

іншої металопродукції, наведені також у багатьох літературних джерелах [2—6 та ін.]. Слід зазначити, що у ДСТУ 9051:2020 та у довіднику [4], монографіях [5—6] та їм подібних широко розглянуто проблему боротьби з дефектами різної природи на поверхні виливків з чавуну та сталі, представлено способи упередження дефектів, що доведені до конкретних рекомендацій і користуються попитом у виробничій практиці ливарних підприємств. Подальшим заходом у цій темі може бути розробка нового ДСТУ, в якому терміни та визначення дефектів виливків з чавуну і сталі будуть доповнені науковими основами механізму утворення характерних дефектів та проілюстровані фотографіями. Доречно згадати, що такий підхід був застосований, зокрема, у зазначеній вище книзі [2], присвяченій запобіганню дефектів на поверхні листового прокату.

В темі, яка розглядається, питання виявлення прихованих дефектів заслуговує на особливу увагу. На поверхні ливарних виробів у процесі застосування литва за призначенням приховані дефекти зазвичай розкриваються, збільшуються, призводять до необхідності ремонту чи заміни виробів. Показовим прикладом цього є ситуація, коли невиявлені й не усунені поверхневі дефекти гальмівних колодок залізничного транспорту створюють проблеми при експлуатації рухомих засобів. Загальновідомо, що під впливом дефектів на поверхні вироблених литвом гальмівних колодок утворюються дефекти на поверхні кочення коліс рухомих засобів, а далі дефекти утворюються і на поверхні кочення залізничних рейок [7—11]. Тому виявлення і видалення прихованих дефектів на поверхні виливків, у тому числі на гальмівних колодках залізничного транспорту, опосередковано впливає на ефективність діяльності споживачів ливарних виробів, зокрема на техніко-економічні показники діяльності залізниці. При цьому підкреслимо, що так звані композиційні гальмівні колодки, виготовлені із гумосуміші невизначеного хімічного складу її компонентів, внаслідок низької теплопровідності порівняно з теплопровідністю чавуну, значно більшою мірою сприяють утворенню дефектів на поверхні елементів системи «гальмівна колодка—колесо рухомого засобу—залізнична рейка» [7—8, 11 та ін.]. Композиційні колодки із гумосуміші не рекомендується застосовувати у гальмівних системах пасажирських, швидкісних поїздів.

Висновки

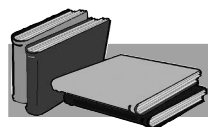
1. Виявлення і видалення прихованих дефектів на поверхні виливків із чавуну та сталі забезпечує їх дробометна обробка сталевим кулевидної форми дробом діаметром 1,8—3,2 мм.

2. Невиявлені і невидалені дефекти на поверхні чавунних гальмівних колодок залізничного транспорту в процесі експлуатації ініціюють утворення дефектів на поверхні кочення коліс рухомих засобів, а далі залізничних рейок. Композиційні гальмівні колодки більшою мірою, ніж чавунні, сприяють утворенню дефектів внаслідок низької теплопровідності ком-

позиту (гумосуміші) з усіма негативними наслідками від цього.

3. В стандартах і технічних умовах на залізничні гальмівні чавунні колодки необхідно передбачати вимоги щодо їх дробометної обробки у процесі виробництва.

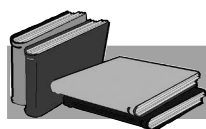
4. При удосконаленні ДСТУ 9051:2020 «Виливки з чавуну та сталі. Дефекти. Терміни та визначення понять» доцільно доповнити зміст цього стандарту інформацією щодо зовнішнього вигляду дефектів і фотографіями мікроструктури металу в місцях дефектів.



ЛІТЕРАТУРА

1. Мазур В.Л., Попов Є.С., Клименко С.І., Сіренко К.А. Задачі ливарних підприємств у відновленні інфраструктури України. *Метал та лиття України*. 2023. Т. 31. № 1 (332). С. 63—68. URL: <https://metalsandcasting.com/index.php/mcu/article/view/239> (дата звернення: 01.11.2025).
2. Мелешко В.И., Чекмарев А.П., Мазур В.Л., Качойлов А.П. Отделка поверхности листа. Москва: Металлургия, 1973. 272 с.
3. Мазур В.Л., Добронравов А.И., Чернов П.П. Предупреждение дефектов листового проката. Киев: Техника, 1986. 141 с.
4. Справочник по чугуному литью. Под ред. Н.Г. Гиршовича. 3-е изд. Л.: Машиностроение, 1978. 758 с.
5. Шумихин В.С., Кутузов В.П., Храмченков А.И. и др. Высококачественные чугуны для отливок. Под ред. Н.Н. Александрова. Москва: Машиностроение, 1982. 292 с.
6. Орешкин В.Д. Основы литейного производства. Машгиз, 1961. 327 с.
7. Сіренко К.А., Мазур В.Л. Аналіз впливу матеріалу гальмівних колодок на утворення дефектів на поверхні кочення коліс залізничного транспорту. *Метал та лиття України*. 2024. Т. 32. № 2 (337). С. 64—70. <https://doi.org/10.15407/steelcast2024.02.008>
8. Ловська А., Равлюк В. Виявлення причин утворення поверхневих дефектів коліс вагонів, обладнаних композиційними колодками. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій: Серія «Транспортні системи і технології»*. 2022. Вип. 40. С. 102—120. <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2022-40-9>
9. Вакуленко І.О. Залежність структурних перетворень по поверхні кочення залізничних коліс від типу гальмівної системи. *Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізничн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*. Дніпропетровськ. 2008. Вип. 24. С. 192—194.
10. Грищенко М.А. Причини виникнення дефектів на поверхні кочення залізничних коліс. *Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізничн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*. Дніпропетровськ. 2009. Вип. 27. С. 223—225.
11. Бабаченко О.І., Кононенко Г.А., Подольський Р.В., Сафронова О.А., Шпак О.А. Дослідження зв'язку мікроструктури та експлуатаційних дефектів колеса і рейки. *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії*. 2024. Вип. 38. С. 517—541. <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2024-38-517-541>

Надійшла 05.11.2025



REFERENCES

1. Mazur, V. L., Popov, Ye. S., Klymenko, S. I., & Sirenko, K. A. (2023). Tasks of foundry enterprises in restoring the infrastructure of Ukraine. *Metal and Casting of Ukraine*, 31(1(332)), 63-68. <https://metalsandcasting.com/index.php/mcu/article/view/239> [in Ukrainian].
2. Meleshko, V. I., Chekmarev, A. P., Mazur, V. L., & Kachoylov, A. P. (1973). Otdelka poverhnosti lista [Sheet surface finishing]. *Metallurgiya* [in Russian].
3. Mazur, V. L., Dobronravov, A. I., & Chernov, P. P. (1986). Preduprezhdenie defektov listovogo prokata [Prevention of defects in rolled sheet metal]. *Tekhnika* [in Russian].
4. Girshovich, N. G. (Ed.). (1978). Spravochnik po chugunnomu lityu. 3-e izd. [Reference book on cast iron casting. 3-rd edition]. *Mashinostroenie* [in Russian].
5. Shumikhin, V. S., Kutuzov, V. P., Khrumchenkov, A. I. et al. (1982). Vyisokokachestvennyye chugunyi dlya otlivok [High-quality cast irons for castings]. Edited by N. N. Aleksandrov. *Mashinostroenie* [in Russian].
6. Oreshkin, V. D. (1961). Osnovy liteynogo proizvodstva [Fundamentals of foundry production]. *Mashgiz* [in Russian].
7. Sirenko, K. A., & Mazur, V. L. (2024). Analysis of the influence of brake pad material on the formation of defects on the rolling surface of railway wheels. *Metal and Casting of Ukraine*, 32(2(337)), 64-70. <https://doi.org/10.15407/steelcast2024.02.008> [in Ukrainian].
8. Lovska, A., & Ravlyuk, V. (2022). Identification of the causes of surface defects of wheels of cars equipped with composite pads. *Collection of scientific papers of the State University of Infrastructure and Technologies: Series "Transport Systems and Technologies"*, (40), 102-120. <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2022-40-9> [in Ukrainian].
9. Vakulenko, I. O. (2008). Zalezhnist strukturnykh peretvoren po poverkhni kochennia zaliznychnykh kolis vid typu halmivnoi systemy [Dependence of structural transformations on the rolling surface of railway wheels on the type of braking system]. *Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazarian*, (24), 192-194 [in Ukrainian].
10. Gryshchenko, M. A. (2009). Prychyny vynykennia defektiv na poverkhni kochennia zaliznychnykh kolis [Causes of defects on the rolling surface of railway wheels]. *Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazarian*, (27), 223-225 [in Ukrainian].
11. Babachenko, O. I., Kononenko, G. A., Podolsky, R. V., Safronova, O. A., & Shpak, O. A. (2024). Research on the relationship between microstructure and operational defects of wheels and rails. *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*, (38), 517-541. <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2024-38-517-541> [in Ukrainian].

Received 05.11.2025

Summary

K.A. Sirenko, PhD (Engin.), Deputy Head of Department,
e-mail: thermoexp.metal@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2613-8094>
V.L. Mazur, Corresponding Member of the NAS of Ukraine,
Dr. Sci. (Engin.), Professor, Chief Researcher,
e-mail: prof.vlm@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-8970-5389>

*Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine
(Kyiv, Ukraine)*

Detection of Hidden Defects on the Surface of Casting Products

The features of the Ukrainian national standard DSTU 9051:2020 "Iron and steel castings. Defects. Terms and definitions of concepts" are considered. The classification of defects on the surface of castings adopted in this standard is analysed from the point of view of the possibilities of detecting hidden violations of the integrity of the surface layers of metal and recommendations for preventing the development of these defects in castings during their operation. In the process of developing this standard, in order to increase its informativeness, it is proposed to supplement the definition of the causes and mechanism of defect formation on the surface of castings with photographs of the microstructure of the surface layer of metal in the areas where defects occur. The insufficiency of coverage of the topic of preventing surface defects in cast iron and steel castings in modern technical literature is demonstrated. The example of the production and operation of railway brake pads demonstrates the relevance of scientific and industrial research into the prevention of defects on the surface of brake pads due to their negative impact on the formation of creepers, craters, welds, and other defects on the surface of rolling stock wheels and railway rails. This significantly worsens the technical and economic performance not only of foundries, but also of consumers of foundry products, in particular the railways. The inefficiency of shot blasting castings to detect and remove defects on their surface compared to shot peening has been demonstrated. The necessity of using shot peening (shot blasting) of castings in the manufacture of critical products has been demonstrated. In accordance with the practice of foundries, round steel shot with a diameter of 1.8 to 3.2 mm is effective for shot blasting these products. Recommendations are given on the mandatory shot blasting of cast iron brake pads during their manufacture. The technical specifications for cast iron brake pads for railway rolling stock must regulate the requirements for shot blasting their surfaces to detect and remove hidden defects.

Keywords

Foundry production, cast iron and steel castings, surface defects, detection methods, shot blasting.