

## КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ ПРИЧИН ДЕГРАДАЦІЇ ЦИНКОВОГО ПОКРИТТЯ НА ГНУТИХ СТАЛЕВИХ ПРОФІЛЯХ ДЛЯ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

<sup>1</sup> ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

<sup>2</sup> ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

### Анотація

Наведено результати хімічного дослідження гнутих оцинкованих профілів, виготовлених з рулонної сталі марки DX51D+Z140. Встановлено причини виникнення корозії («білої іржі») на зовнішній поверхні профілів, незважаючи на наявність цинкового покриття. Проведено комплексний аналіз впливу хлоридів, сульфатів, оксидів заліза, залишкових органічних сполук та стану хромового пасивування. Отримані результати дозволяють ідентифікувати фактори, що призвели до порушення антикорозійного захисту, та сформулювати рекомендації для усунення аналогічних дефектів у майбутньому.

**Ключові слова:** оцинкована сталь, гнутий профіль, корозія, хлориди, пасивація, хром, хімічний аналіз.

### Огляд проблеми

У сучасних умовах гострої потреби у відновленні пошкодженого житлового фонду, зокрема внаслідок бойових дій в Україні, особливого значення набувають конструктивні матеріали, що поєднують надійність, швидкість і економічність монтажу. Ключовим елементом таких систем є гнуті профілі з оцинкованої сталі [1], які широко застосовуються у віконних конструкціях, каркасах, фасадах, а також у тепличних і сільськогосподарських спорудах. Вони забезпечують жорсткість, геометричну стабільність та зручність у використанні. Однак навіть за наявності цинкового покриття спостерігається його передчасна деградація — зокрема у вигляді «білої іржі» [2], що виникає через вологу, агресивні аерозолі та відсутність ефективної пасивації. Така корозія погіршує зовнішній вигляд виробів, спричиняє руйнування цинку, оголення сталі й зниження надійності конструкцій. Кліматичні зміни, використання реагентів, добрив і хімікатів в агросекторі створюють агресивне середовище, що підсилює вплив навіть дрібних виробничих дефектів. Виробництво цих елементів охоплює холодну прокатку, оцинкування, порізку та профілювання — і кожен етап може бути джерелом дефектів, пов'язаних із недотриманням параметрів очищення, пасивації, вологості або якості води. Забезпечення довговічності оцинкованих профілів є не лише технічним, а й соціально важливим завданням.

### Методика дослідження

Для аналізу відібрано 15 зразків гнутих профілів і 3 зразки рулонної сталі. Дослідження проводилися в лабораторних умовах із дотриманням стандартів точності та відтворюваності. Зразки очищували й поділяли на сегменти: зовнішню, внутрішню поверхні та зону згину. Аналіз включав виявлення та кількісну оцінку хлоридів, сульфатів, Cr(VI), оксидів заліза ( $Fe_2O_3$ ,  $Fe_3O_4$ ), залишків органічних речовин (мастила, емульсії), а також визначення маси цинкового покриття. Хлориди та сульфати визначали іонним обміном із подальшою спектрофотометрією; Cr(VI) — колориметрично з 1,5-дифенілкарбазидом; оксиди заліза — візуально після реакції з гідроксидами; органічні речовини — хроматографією після екстракції. Маса цинку визначалась гравіметрично за ДСТУ EN 10346:2014.

### Результати та аналіз

Результати дослідження свідчать про багатофакторний характер корозійних пошкоджень та дають змогу точніше визначити механізми деградації цинкового покриття. На зовнішній поверхні всіх 15 зразків гнутих профілів виявлено значні концентрації хлоридів, тоді як внутрішні поверхні та зразки рулонної сталі залишались чистими. Це вказує на зовнішнє походження хлоридів, зокрема через вологе середовище з поганою вентиляцією або застосування хлорованої технічної води. Відсутність сульфатів підтверджує ефективне промивання після кислотного травлення. Шестивалентний хром (Cr(VI)) виявлено лише на внутрішній стороні профілів та в

рулонах, що свідчить про відсутність або неякісну пасивацію зовнішньої поверхні — найбільш вразливої до корозії. Це стало критичним чинником утворення «білої корозії». Під шаром цинку зафіксовано оксиди заліза, відсутні у рулонній сталі, що вказує на їх появу під час або після гнуття — ймовірно через недостатнє очищення чи вплив залишкових кислотно-сольових сполук. Аналіз показав наявність емульсій мастил у низькій концентрації, але достатній для порушення адгезії цинку та утворення мікропор, які сприяють точковій корозії у присутності вологи. Маса цинкового покриття на гнутих профілях становила 1,02 % маси, тоді як у рулонах — 1,14–1,28 %, що вказує на втрату цинку через активний корозійний процес. Візуально зафіксовано осередки білої корозії переважно вздовж згинів і кутів — зон із підвищеним механічним напруженням. Локалізація хлоридів лише на поверхні підтверджує їх зовнішнє походження, ймовірно пов'язане з умовами зберігання, транспортування або близькістю до джерел агресивного середовища (дороги із солевим обробленням, водойми). Часткова пасивація, наявність органічних залишків та оксидів заліза тільки у профілях свідчать про технологічні недоліки саме на етапі формування виробу. Гравіметричне визначення маси покриття згідно з ДСТУ EN 10346:2014 підтвердило зниження вмісту цинку в гнутих профілях (1,02 %) порівняно з рулонами (1,14–1,28 %), що є наслідком корозійної деградації.

### Висновки

Дослідження показало, що корозія оцинкованих гнутих профілів має комбіноване походження — зумовлене як технологічними, так і зовнішніми чинниками. Важливе значення мають якість рулонної сталі та умови холодного формування, під час якого можливе порушення поверхневих шарів і зниження захисних властивостей. Серед основних причин деградації цинкового покриття встановлено: відсутність пасивації зовнішньої поверхні, вплив атмосферних або техногенних хлоридів, залишки оксидів заліза (включаючи окалину), сліди органіки та часткова втрата цинку внаслідок корозії. Для запобігання таким дефектам слід забезпечити повну пасивацію обох поверхонь, використовувати демінералізовану воду, покращити процеси очищення і знежирення перед оцинкуванням, а також оптимізувати умови зберігання і транспортування продукції.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Соколов, О. М., & Джирма, С. О. (2018). Конструктивні особливості зведення малоповерхових будинків на основі застосування легких сталевих тонкостінних конструкцій (ЛСТК). *Збірник матеріалів V всеукраїнського студентського науково-практичного семінару*, Центральноукраїнський національний технічний університет, 406–413.
2. Wells, N., Martinez, C. A., Bass, M., & Moon, R. E. (2015). Metal Corrosion: A Qualitative Analysis. *Forensic Engineering 2015: Proceedings*, 693–704. <https://doi.org/10.1061/9780784479711.068>.

**Кухар Володимир Валентинович**, доктор технічних наук, професор, проректор з науково-дослідної роботи, ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», м. Запоріжжя, [kvv.mariupol@gmail.com](mailto:kvv.mariupol@gmail.com)

**Бутенко Елеонора Олегівна**, кандидат технічних наук, доцент, завідувачка кафедри хімічної технології та інженерії, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, [butenko\\_e\\_o@pstu.edu](mailto:butenko_e_o@pstu.edu)

### COMPREHENSIVE ANALYSIS OF THE CAUSES OF ZINC COATING DEGRADATION ON BENT STEEL SECTIONS FOR BUILDING STRUCTURES

#### Abstract

*The results of a chemical analysis of cold-formed galvanized steel profiles made from DX51D+Z140 coil steel are presented. The causes of corrosion ("white rust") observed on the external surfaces of the profiles, despite the presence of a zinc coating, have been identified. A comprehensive analysis was conducted to assess the influence of chlorides, sulphates, iron oxides, residual organic compounds, and the state of chromate passivation. The findings make it possible to identify the factors that led to the failure of corrosion protection and to formulate recommendations for preventing similar defects in the future.*

**Keywords:** galvanized steel, cold-formed profile, corrosion, chlorides, passivation, chromium, chemical analysis.

**Volodymyr V. Kukhar**, D.Sc. (Eng.), Professor, Vice-Rector for R&D, "TECHNICAL UNIVERSITY "METINVEST POLYTECHNIC" LLC, Zaporizhzhia, Ukraine, [kvv.mariupol@gmail.com](mailto:kvv.mariupol@gmail.com)

**Eleonora O. Butenko**, Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Head of the Department of Chemical Technology and Engineering, State Higher Educational Institution "Pryazovskyi State Technical University", Dnipro, Ukraine, [butenko\\_e\\_o@pstu.edu](mailto:butenko_e_o@pstu.edu)