

Київський національний університет будівництва і архітектури

Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ТОМІН ОЛЕКСАНДР ОЛЕГОВИЧ

УДК 691.5

ДИСЕРТАЦІЯ

**ПОРОШКОВІ ЛАКОФАРБОВІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ АНТИКОРОЗІЙНОГО
ЗАХИСТУ БУДІВЕЛЬНИХ МЕТАЛЕВИХ ВИРОБІВ І КОНСТРУКЦІЙ**

192 – будівництво та цивільна інженерія

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії).

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело
_____ О.О.Томін

Науковий керівник Ластівка Олесь Васильович, кандидат технічних наук, доцент.

Київ-2023

АНОТАЦІЯ

Томін О.О. Порошкові лакофарбові матеріали для антикорозійного захисту будівельних металевих виробів і конструкцій. — Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 192 — «Будівництво та цивільна інженерія» — Київський національний університет будівництва та архітектури, Київ, 2023.

Аналіз сучасних тенденцій свідчить, що найбільш поширеною системою антикорозійного захисту будівельних металевих виробів і конструкцій є застосування рідких лакофарбових матеріалів на органічній основі. Однак основними недоліками використання лакофарбових матеріалів традиційного для ринку України асортименту є: вміст у їхньому складі розчинників, що зумовлює їх емісію при застосуванні та призводить до забруднення навколишнього середовища; короткий термін експлуатації покриття на їх основі, що значно підвищує економічні витрати на відновлення захисних властивостей поверхні. Крім того, екологічні аспекти виробництва і використання лакофарбових матеріалів, особливо стосовно вмісту летких органічних сполук (ЛОС), важких металів та інших шкідливих речовин, набувають першочергового значення в зв'язку з пріоритетними цільовими програмами уряду України (рішення РНБО «Про виклики і загрози національній безпеці України в екологічній сфері та першочергові заходи щодо їх нейтралізації») та необхідністю дотриманням вимог Директиви ЄС, яка суворо регламентує вміст ЛОС у лакофарбових матеріалах залежно від виду та сфери застосування. Тому з урахуванням норм законодавства України про екологічну безпеку та впровадження новітніх економічних технологій, розробка ресурсоекономних систем покриттів для антикорозійного захисту будівельних металевих виробів і конструкцій, являє собою актуальну задачу, що дозволить знизити собівартість продукту та зменшити навантаження на екологію, а запровадження випуску порошкових

лакофарбових матеріалів в Україні зменшить імпорتنу складову економіки країни, що також є питанням національної безпеки.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню важливої науково-технічної проблеми – розробленню рецептур порошкових лакофарбових матеріалів та отримання на їх основі декоративно-захисних покриттів з регульованими фізико-механічними властивостями та високою корозійною стійкістю.

Розроблено наукову концепцію підвищення ефективності використання порошкових лакофарбових матеріалів для антикорозійного захисту будівельних виробів і конструкцій, яка базується на забезпеченні заданих властивостей за рахунок оптимізації складових в системі «плівкоутворювач - зшиваючий агент - наповнювач» та використанні модифікуючих комплексних добавок, вибір яких залежить від хімічної природи речовини.

Вперше для забезпечення регулювання і прогнозування властивостей захисних покриттів на основі порошкових лакофарбових матеріалів було методологічно застосовано системний підхід, що включає поєднання показників опору пор та ємнісного опору системи покриття до проходження електроліту на етапах формування структури порошкових лакофарбових композицій: на етапі структурування полімерної матриці у в'язкотекучому стані, на етапі протікання хімічної реакції зшивки при переході до склоподібного стану та на етапі формування просторової орієнтації полімерної сітки в склоподібному стані.

Встановлено, що використання силікатних наповнювачів у вигляді метакаоліну та тальку в складі порошкових лакофарбових матеріалів сприяють отриманню щільної, непроникної структури порошкового покриття за рахунок підвищення міжфазної взаємодії частинок наповнювачів і полімеру шляхом високої поверхневої енергії і реакційної здатності функціональних груп наповнювачів, що сприяє утворенню міцних міжфазних зв'язків в полімерній матриці, підвищує імпедансні характеристики порошкового покриття та, відповідно, забезпечує високу корозійну стійкість матеріалу.

Встановлено можливість управління реологічними властивостями та структурою порошкових лакофарбових матеріалів, шляхом їх модифікації

комплексними добавками реологічної дії у вигляді поліакрилату та поліоксіетиленової похідної касторової олії, а також дегазуючої дії у вигляді гідроксікетону адсорбованого на діоксиді кремнію та мікронізованого етиленбіс-стеараміду, які сприяють підвищенню механічних властивостей, корозійної стійкості та довговічності покриттів.

Розроблено склади порошкового лакофарбового матеріалу з використанням системи «поліефірний плівкоутворювач – НАА – силікатні наповнювачі – модифікуючі добавки» за критеріями їх ефективного використання для антикорозійного захисту будівельних виробів і конструкцій.

Отримано патент на винахід на розроблену поліефірну порошкову фарбу. Розроблено проект технічних умов на виробництво порошкових лакофарбових матеріалів.

Випущено дослідну партію порошкового лакофарбового матеріалу при подальшому отриманні дослідних партій системи огороження секційного типу «ЕКО ЗАГРАДА» у кількості 500 шт. та системи покрівлі у вигляді металочерепиці «Ретро» у кількості 300 шт. пофарбованого розробленим порошковим покриттям.

Ключові слова: плівкоутворювач, тальк, метакаолін, модифікуючі добавки, структура, покриття, міцність, корозійна стійкість, довговічність.

ABSTRACT

Tomin O.O. Powder coating materials for anti-corrosion protection of building metal products and structures. — Qualifying scientific work on manuscript rights.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences in specialty 192 — "Construction and civil engineering" — Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, 2023.

The analysis of modern trends shows that the most common system of anti-corrosion protection of building metal products and structures is the use of liquid paints

and varnishes on an organic basis. However, the main disadvantages of using paints and varnishes of the traditional assortment for the Ukrainian market are: the content of solvents in their composition, which determines their emission during use and leads to environmental pollution; a short service life of the coating based on them, which significantly increases the economic costs of restoring the protective properties of the surface. In addition, the ecological aspects of the production and use of paint and varnish materials, especially regarding the content of volatile organic compounds (VOCs), heavy metals and other harmful substances, are of primary importance in connection with the priority target programs of the Government of Ukraine (the decision of the NSDC "On challenges and threats to the national safety of Ukraine in the environmental sphere and priority measures for their neutralization") and the need to comply with the requirements of the EC Directive, which strictly regulates the content of VOCs in paint and varnish materials depending on the type and scope of application. Therefore, taking into account the norms of the legislation of Ukraine on environmental safety and the introduction of the latest economic technologies, the development of resource-efficient coating systems for the anti-corrosion protection of construction metal products and structures is an urgent task that will allow to reduce the cost of the product and reduce the burden on the environment, and the introduction of the production of powder paint and varnish materials in Ukraine will reduce the import component of the country's economy, which is also a matter of national security.

The dissertation work is devoted to the solution of an important scientific and technical problem - the development of formulations of powder paint materials and obtaining on their basis decorative and protective coatings with adjustable physical and mechanical properties and high corrosion resistance.

A scientific concept of increasing the efficiency of the use of powder paint materials for anti-corrosion protection of building products and structures has been developed, which is based on ensuring the specified properties due to the optimization of the components in the "film-forming - cross-linking agent - filler" system and the use of modifying complex additives, the choice of which depends on the chemical nature of the substance .

For the first time, in order to ensure the regulation and forecasting of the properties of protective coatings based on powder paint materials, a systematic approach was methodologically applied, which includes a combination of pore resistance and capacitive resistance of the coating system to the passage of electrolyte at the stages of forming the structure of powder paint compositions: at the stage of structuring the polymer matrix in a viscous state, at the stage of the crosslinking chemical reaction during the transition to the glassy state, and at the stage of the formation of the spatial orientation of the polymer network in the glassy state.

It was established that the use of silicate fillers in the form of metakaolin and talc in the composition of powder paint and varnish materials contribute to obtaining a dense, impermeable structure of the powder coating due to the increase in the interfacial interaction of the filler particles and the polymer through high surface energy and the reactivity of the functional groups of the fillers, which contributes to the formation of strong interfacial bonds in the polymer matrix, increases the impedance characteristics of the powder coating and, accordingly, provides high corrosion resistance of the material.

The possibility of controlling the rheological properties and structure of powder paint materials by modifying them with complex additives of rheological action in the form of polyacrylate and polyoxyethylene derivative of castor oil, as well as degassing action in the form of hydroxyketone adsorbed on silicon dioxide and micronized ethylene-bis-stearamide, which contribute to increasing mechanical properties, corrosion resistance and durability of coatings.

Formulations of powder coating material using the system "polyester film former - NAA - silicate fillers - modifying additives" were developed according to the criteria of their effective use for anti-corrosion protection of construction products and structures.

Received a patent for the invention of the developed polyester powder paint. The project of technical conditions for the production of powder paint and varnish materials has been developed.

A trial batch of powder paint material was released upon further receipt of trial batches of the sectional type fencing system "ECO FENCE" in the amount of 500 pcs. and roofing systems in the form of "Retro" metal tiles in the amount of 300 pcs. colored developed powder.

Key words: film former, talc, metakaolin, modifying additives, structure, coating, strength, corrosion resistance, durability.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Публікації у періодичних наукових виданнях інших держав, які входять до міжнародних наукометричних баз:

Gots V.I, Lastivka O.V., **Tomin O.O.**, Kovalchuk O.G.. Influence of Film-Forming Components on the Corrosion Resistance of Powder Coating. Trans Tech Publications Ltd. 2019, Vol. 968,., pp 143-152 (Scopus)

1. Gots V.I., Lastivka O.V., Berdnyk O.U, **Tomin O.O.**, and Shilyuk P.S. Corrosion Resistance of Polyester Powder Coatings Using Fillers of Various Chemical Nature 2020 Trans Tech Publications Ltd, Vol. 894, pp 115-121 (Scopus)

2. V.I. Gots, O.V. Lastivka, **O.O. Tomin**, S.A Tymoshenko. Fillers for modification of polyester powder coating. Materials Science and Engineering 907 (2020) 012051 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/907/1/012051 (Scopus)

3. Gots V.I., Lastivka O.V., Berdnyk O.U, **Tomin O.O.** Influence of modifying additives on properties of the powder coatings. Materials Science and Engineering 1164 (2021) 012044 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/1164/1/012044 (Scopus)

Тези доповідей в збірках матеріалів конференцій:

4. Ластівка О.В., **Томін О.О.**, Сорока І.П. Експлуатаційні властивості декоративно-захисних порошкових покриттів при нанесенні їх на будівельні металеві вироби. (International scientific-practical conference of young scientists) KYIV, 28-30 November 2018 p.192.

5. Гоц В.І., Ластівка О.В., Бердник О.Ю., Шилюк П.С., **Томін О.О.** Вплив наповнювачів на корозійну стійкість поліефірних порошкових покриттів. Тези доповідей VII міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні проблеми інженерної механіки» (12-15 травня 2020 р.). – Одеса: ОГАСА, 2020. – с. 78-81

6. Гоц В.І., Ластівка О.В., **Томін О.О.**, Ковальчук О.Г. Порошкові лакофарбові покриття для захисту металевих виробів та конструкцій. Тези доповідей IV міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні технології в архітектурі і дизайні» (21-22 травня 2020 р.). – Харків: ХНУБА, 2020. – с. 174-175.

Статті у фахових виданнях:

7. Гоц В. І., Ластівка О. В., **Томін О.О.**, Ковальчук О. Г. Корозійна стійкість поліефірних порошкових покриттів з використанням наповнювачів різної хімічної природи. Журнал «Будівельні матеріали та вироби». Київ, 2020. №1-2., с. 48-51. (Категорія Б);

8. Гоц В. І., Ластівка О. В., **Томін О.О.**, Ковальчук О. Г. Вплив наповнювачів різної хімічної природи на фізико-механічні властивості порошкових покриттів. Науковий вісник будівництва. – Х., ХНУБА, 2020. – Т. 99. №. 1. – с.56-62. (Категорія Б);

9. Гоц В.І., Ластівка О.В., **Томін О.О.**, Ковальчук О.Г. Технологія виготовлення декоративно-захисних порошкових лако-фарбових покриттів для захисту будівельних металевих виробів. Журнал «Будівельні матеріали та вироби», 2019., № 1-2 (100), С. 60-64., (Категорія Б);

10. Гоц В.І., Ластівка О.В., **Томін О.О.** Вплив плівкоутворюючих компонентів на корозійну стійкість порошкового покриття. – Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: ОДАБА, 2019. – Вип. 75. – С. 70-80. ISSN 2415-377X. (Категорія Б);

11. Гоц В.І., Ластівка О.В., **Томін О.О.**, Ковальчук О.Г. Ефективність використання декоративно-захисних порошкових покриттів для будівельних металевих виробів. – Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: ОДАБА, 2018. – Вип. 73. – С.81-88. ISSN 2415-377X. (Категорія Б);

12. Гоц В.І., Ластівка О.В., **Томін О.О.**, Ефективність дії модифікуючих добавок в порошкових лакофарбових матеріалах. – Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: ОДАБА, 2021. – Вип. 83. – С.47-57. DOI: 10.31650/2415-377X-2021-83-47-57, (Категорія Б);

13. Gots V.I, Lastivka O.V, **Tomin O.O**, Mehet V.S Formation of powder coating properties in the system "film forming – cross-linking agent". – Одеса: ОДАБА, 2022. – Вип. 87. – С.57-64. (Категорія Б).

Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

14. К.т.н., доцент КНУБА Ластівка О.В., Аспірант каф ТБКВМ КНУБА **Томін О.О.**, ТУ У 20.3-40236146-001:2018 ФАРБИ ПОРОШКОВІ. Технічні умови. Погоджено від 10.08.2018р. №602-123-20-2/35437.

15. Ластівка О.В, Гоц В.І., **Томін О.О.** Патент на винахід № 126515 Україна. Порошкова поліефірна фарба. МПК (2021.01), C09D 5/03, C09D 167/00. – № а 2021 00460; заявл. 05.02.2021; опубл. 19.10.2022, Бюл. №42.

ЗМІСТ

	стор.
Список публікацій здобувача.....	8
ЗМІСТ	11
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	13
ВСТУП.....	14
РОЗДІЛ 1. СТАН НАУКОВОЇ РОЗРОБКИ ТЕМИ ТА ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДОСЛІДЖЕНЬ.	22
1.1 Способи захисту металевих виробів від корозії.	22
1.2 Порошкові лакофарбові матеріали для захисту сталевих виробів та конструкцій: переваги та недоліки представників рецептурного складу	35
1.3 Роль наповнювачів у формуванні властивостей порошкових фарб та покриттів на їх основі	48
1.4 Роль хімічних добавок у формуванні властивостей порошкових лакофарбових матеріалів.....	55
1.5 Теоретичні передумови досліджень та наукова гіпотеза.....	62
РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА СИРОВИННИХ МАТЕРІАЛІВ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ.	64
2.1 Сировинні матеріали.....	64
2.2 Методи досліджень	73
2.2.1 Методи досліджень фізико-механічних характеристик.....	73
2.2.2 Методи досліджень корозійної стійкості покриття.....	78
2.2.3 Фізико-хімічні методи досліджень корозійної стійкості покриття.....	79
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПОРОШКОВИХ ЛАКОФАРБОВИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЗАХИСТУ БУДІВЕЛЬНИХ МЕТАЛЕВИХ ВИРОБІВ	82
3.1 Закономірність формування структури і властивостей в модельній системі «плівкоутворювач-зшиваючий агент»	82
3.1.1 Вплив плівкоутворювача на формування властивостей систем порошкового покриття.....	82

3.1.2 Вплив плівкоутворювача на корозійну стійкість систем порошкового покриття	92
3.1.3 Класифікація досліджуваних модельних систем лакофарбового покриття до категорій атмосферної корозійної агресивності.....	98
3.1.4 Фізико-хімічні процеси в системі «покриття-метал».....	103
3.2 Особливості формування структури і властивостей порошкових покриттів з використанням наповнювачів різної хімічної природи	112
3.2.1 Вплив наповнювачів на формування фізико-механічних властивостей порошкового покриття.....	113
3.2.2 Корозійна стійкість порошкового покриття з використанням різних типів наповнювачів	120
3.3 Фізико-хімічні процеси при твердненні порошкового покриття з використанням наповнювачів різного типу	121
3.4 Оптимізація складів декоративно-захисного порошкового покриття, модифікованого наповнювачами у вигляді метакаоліну та тальку	132
3.5 Висновок до розділу 3.....	142
РОЗДІЛ 4. ВПЛИВ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ДОБАВОК НА ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОРОШКОВОГО ПОКРИТТЯ	143
4.1 Вплив добавок на реологічні властивості порошкового покриття при його формуванні.....	143
4.2 Вплив дегазаторів на формування властивостей порошкового покриття ..	151
4.3 Вплив модифікуючих добавок у вигляді мікронізованих восків на фізико-механічні характеристики покриття.....	155
4.4 Вплив антикорозійних пігментів на формування структури та властивостей порошкового покриття.....	156
4.5 Визначення опору розроблених порошкових систем до статичної дії розчинників.....	165

4.6 Ефективність модифікації систем порошкових лакофарбових покриттів	170
4.7 Висновок до розділу 4.....	173
РОЗДІЛ 5. ДОСЛІДНО-ПРОМИСЛОВЕ ВПРОВАДЖЕННЯ ПОРОШКОВОГО ПОКРИТТЯ ПІДВИЩЕНОЇ КОРОЗІЙНОЇ СТІЙКОСТІ.....	175
5.1 Апробація можливості виробництва модифікованих порошкових лакофарбових матеріалів для захисту будівельних металевих виробів і конструкцій.....	175
5.2 Висновок до розділу 5.....	180
ВИСНОВКИ.....	181
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	181
Додаток А.....	198
Додаток Б.....	199
Додаток В.....	203
Додаток Г.....	205
Додаток Д.....	208
ПАТЕНТ НА ВІНАХІД №126515 ПОРОШКОВА ПОЛІЕФІРНА ФАРБА	209
ФАРБИ ПОРОШКОВІ ТЕХНІЧНІ УМОВИ ТУ У 20.3-40236146-001:2018....	218

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ПП	Порошкові покриття
ПФ	Порошкова фарба
ЛФМ	Лакофарбовий матеріал
TGIC	Тригліцедилізоціанурат
НАА	Гідроксіалкідамід
DICU	Діциандіамід
ПТФЕ	Політетрафторетилен
ПЕ	Поліетиленовий віск
Tg	Температура склування
ПАР	Поверхнево активні речовини
АК	Алкідний плівкоутворювач
АУ	Акриловий плівкоутворювач
EIS	Цинк-етилсилікатний плівкоутворювач
EP	Епоксидний плівкоутворювач
PS	Полісилоксановий плівкоутворювач
PU	Поліуритановий плівкоутворювач
ЛОС	Летючі органічні сполуки
ПВХ	Полівінілхлорид
ПВДФ	Полівінілденфторид
ІФД	Ізофорондіізоціанат
QUV	Камера прискорених погодних умов
ТФК	Терафталева кислота
ІФК	Ізофталева кислота
SEM	Скануюча електронна мікроскопія
ЕРС	Енергодисперсійна рентгенівська спектроскопія
EIS	Електрохімічна імпедансна спектроскопія

ВСТУП

Актуальність роботи. Розвиток будівельного комплексу обумовлює підвищення вимог до якості і надійності захисту будівельних виробів і конструкцій від корозії, в т.ч. металевих, з урахуванням норм законодавства про охорону навколишнього середовища, впровадження новітніх економічних технологій, використання ефективних, екологічно-безпечних матеріалів. При створенні таких матеріалів необхідно враховувати як технологічні особливості та складності їхнього виробництва, так і можливість максимального подовження терміну збереження експлуатаційних характеристик будівельних металевих виробів і конструкції в умовах комплексної дії низки руйнівних впливів (температури, корозійного середовища, ерозії, механічних напружень, та ін.).

В даний час найбільш поширеним способом захисту від корозії металевих виробів та конструкцій є нанесення на їх поверхню рідких лакофарбових матеріалів на органічній основі [1]. Основним недоліком використання рідких лакофарбових матеріалів традиційного для ринку України асортименту є вміст у їхньому складі розчинників до 40 %, що неминуче призводить до їх емісії при виробництві та нанесенні, а також забрудненні навколишнього середовища. При цьому, на сьогодні екологічні аспекти виробництва і використання лакофарбових матеріалів, особливо стосовно вмісту летких органічних сполук (ЛОС), важких металів та інших шкідливих речовин, набувають першочергового значення в зв'язку з необхідністю дотриманням вимог Директиви 1999/13/ЄС та Директиви 2004/42/ЄС, якими суворо регламентується вміст ЛОС у лакофарбових матеріалах залежно від виду та сфери застосування [2, 3].

Тому перспективним і актуальним напрямом з практичної і наукової точки зору є збільшення використання лакофарбових композицій, що не містять органічних розчинників, важких металів та інших шкідливих речовин. Найбільш перспективним лакофарбовим матеріалом для захисту будівельних металевих виробів і конструкції є застосування порошкових фарб [4]. Висока перспективність використання порошкових лакофарбових матеріалів пояснюється їх екологічною повноцінністю і привабливістю з точки зору

законодавчої жорсткості охорони навколишнього середовища по скороченню викидів ЛОС, а також високою їх ефективністю, яка пов'язана з можливістю отримувати при одношаровому нанесенні високоякісні декоративно-захисні покриття з високими корозійною і хімічною стійкістю.

Впровадження порошкових лакофарбових матеріалів для захисту будівельних металевих виробів і конструкції із тривалим терміном служби потребує дослідження особливостей формування структури та властивостей порошкового покриття з врахуванням впливу плівкоутворюючих речовин та зшиваючих агентів, наповнювачів різного типу та хімічних добавок різної природи основної діючої речовини. Вирішенню цих питань присвячується дисертаційна робота, актуальність якої визначається наведеним обґрунтуванням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертаційної роботи відповідає науковому напрямку кафедри технології будівельних конструкцій і виробів Київського національного університету будівництва і архітектури. Робота виконана згідно з пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки, визначеними в Законі України від 11 липня 2001 року №2623 – III «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки» (напрямок №6 «Новітні технології та ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та агропромисловому комплексі»).

Мета роботи і задачі досліджень. Метою дисертаційної роботи є розробка рецептури порошкових лакофарбових матеріалів та отримання на їх основі декоративно-захисних покриттів з регульованими фізико-механічними властивостями та високою корозійною стійкістю.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити **наступні задачі:**

- дослідити вплив плівкоутворюючих компонентів та зшиваючих агентів різного хімічного складу на процеси формування структури і властивостей порошкового лакофарбового матеріалу;
- дослідити вплив наповнювачів різного типу на формування фізико-механічних властивостей порошкового покриття;

- дослідити корозійну стійкість порошкових лакофарбових матеріалів і визначити методи керування нею;
- провести оптимізацію складів порошкових лакофарбових матеріалів в напрямку отримання високих фізико-механічних властивостей та високої корозійної стійкості покриття;
- визначити доцільність використання хімічних добавок в порошкових лакофарбових матеріалах залежно від природи основної діючої речовини добавки;
- дослідити фізико-механічні характеристики модифікованих порошкових лакофарбових матеріалів і класифікувати їх до категорій атмосферної корозійної агресивності;
- провести в промислових умовах апробацію розроблених порошкових лакофарбових матеріалів та визначити їх техніко-економічну ефективність.

Об'єктом досліджень є процес направленої формування структури і властивостей порошкового лакофарбового матеріалу з використанням плівкоутворювачів, зшиваючих агентів та наповнювачів різного хімічного складу в присутності хімічних добавок різної природи основної діючої речовини.

Предметом досліджень є порошкові лакофарбові матеріали для захисту будівельних виробів та конструкцій від корозії.

Методи досліджень. Експериментальні результати отримано із застосуванням комплексу сучасних методів фізико-хімічного аналізу: скануючої електронної мікроскопії (SEM), енергодисперсійної рентгенівської спектроскопії (EDS), електрохімічної імпедансної спектроскопії (EIS). Визначення фізико-механічних властивостей (адгезія, міцність до дії зворотного удару, блиск, міцність на згин, міцність на витягування) та корозійної стійкості здійснювалось за стандартними методиками згідно з чинними нормативами. Розрахунки та оптимізацію складів порошкових лакофарбових матеріалів проведено із застосуванням експериментально-статистичних методів планування експерименту.

Наукова новизна одержаних результатів:

- теоретично обґрунтовано та експериментально доведено можливість отримання порошкових лакофарбових матеріалів із регульованими фізико-механічними властивостями та високою корозійною стійкістю за рахунок системного поєднання карбоксиловмісної плівкоутворюючої речовини, зшиваючого агента, силікатного наповнювача, комплексних хімічних добавок реологічної-дегазуючої та антикорозійної дії з врахуванням специфіки індивідуального впливу і механізму структуроутворюючої дії кожного компонента на властивості порошкових систем з одержання покриттів для антикорозійного захисту будівельних металевих виробів і конструкцій;

- встановлено особливості структуроутворення систем порошкових покриттів із високим антикорозійним захистом будівельних виробів і конструкцій при застосуванні методу електрохімічної імпедансної спектроскопії, які полягають у забезпеченні високих імпедансних характеристик, в т.ч. показників опору пор та ємнісного опору системи покриття до проходження електроліту шляхом формування низькопористої, бездефектної структури полімерної матриці при високому рівні зшивання системи покриття «карбоксильований поліефірний плівкоутворювач – гідроксіалкіламід» під час затвердіння і заповнення вільних просторів на межі поділу «покриття – метал»;

- розкрито закономірності впливу таких ознак плівкоутворюючих речовин, як тип функціональних груп, в'язкість, температура склування, кислотне число на формування фізико-механічних властивостей та корозійної стійкості порошкового покриття, та на підставі цього запропоновано класифікацію систем на їх основі до категорій атмосферної корозійної агресивності;

- встановлено позитивну роль силікатних наповнювачів у вигляді метакаоліну та тальку в складі порошкового лакофарбового матеріалу, яка полягає у підвищенні міжфазної взаємодії частинок наповнювачів і полімеру шляхом високої поверхневої енергії і реакційної здатності функціональних груп наповнювачів, що сприяє утворенню міцних міжфазних зв'язків в полімерній матриці, підвищує щільність структури та імпедансних характеристик

порошкового покриття та, відповідно, забезпечує високу корозійну стійкість матеріалу.

- встановлено ефективність впливу наповнювачів різної хімічної природи на корозійну стійкість порошкових покриттів, яка змінюється у ряду: силікат алюмінію (метакаолін) > силікат магнію (тальк) > аморфний діоксид кремнію (мікрокремнезем) > силікат кальцію (воластоніт) > сірчанокисла сіль барію (сульфат барію) > карбонат кальцію (крейда), що відрізняється від відомого впливу вказаних наповнювачів в традиційних лакофарбових матеріалів.

- розкрито закономірності дії модифікуючих добавок різної природи основної діючої речовини та механізму дії в порошкових лакофарбових матеріалах і показано, що в якості модифікаторів реологічної дії ефективним є використання комплексної добавки на основі поліакрилату та похідної касторової олії, яка сприяє підвищенню адгезійного контакту системи покриття із металевою поверхнею та забезпеченню високих фізико-механічних властивостей покриття шляхом високої адсорбційної здатності речовин біля поверхні розділу фаз з вирівнюванням локальних відмінностей в поверхневому натягу основи; в якості модифікаторів дегазуючої дії ефективним є використання комплексної добавки на основі гідроксікетону та етилен біс стеараміду, яка сприяє зниженню утворення пор та пустот в полімерній матриці шляхом пришвидшення процесу виходу захопленого плівкою повітря під час стадії затвердіння покриття.

Практичне значення одержаних результатів:

- розроблено та оптимізовано склади порошкових лакофарбових матеріалів, що характеризуються міцністю до дії зворотного удару ≥ 70 см/кг, міцністю на згин навколо циліндричного стрижня ≤ 8 мм, міцністю на витягування ≥ 7 мм, твердістю – 4Н, адгезією методом решітчастого надрізу класу 0.

- розроблено склади лакофарбових матеріалів, які згідно категорій атмосферної корозійної агресивності відповідають класу С3 (середня)...С5 (дуже висока) із забезпеченням високого класу довговічності (Н) від 15 до 25 років;

- розроблено технічні умови ТУ У 20.3-40236146-001:2018 «Фарби порошкові» та технологічний регламент на їх виробництво для підприємств ТОВ «Лаковер».

- проведено випуск дослідно-промислової партії порошкової фарби на ТОВ «Лаковер» та на її основі отримано покриття загальною площею 100 м² для захисту системи огороження із зварної сітки на ООО «Завод Центр Сітка».

Особистий внесок здобувача: Полягає в дослідженні процесів формування структури і фізико-механічних властивостей порошкового лакофарбового матеріалу на основі плівкоутворювачів та зшиваючих агентів різного хімічного складу в присутності наповнювачів різного типу та модифікаторів, оптимізація їх складів, класифікація покриттів до категорій атмосферної корозійної агресивності.

Постановка задач в частині досліджень підвищення корозійної стійкості порошкових лакофарбових матеріалів для застосування в умовах високої агресивності середовища, обробка та інтерпретація результатів експериментальних досліджень, теоретичні узагальнення в роботі, підготовка доповідей та публікації здійснені під керівництвом наукового керівника к.т.н., доц. О.В. Ластівки.

Апробація результатів дисертації: Основні результати досліджень доповідались і обговорювались на: Міжнародній конференції молодих вчених BUILD MASTER CLASS (BMC-2018) 28-30 November 2018, Kyiv, Ukraine. IV міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні технології в архітектурі і дизайні» 21-22 травня 2020р. м. Харків. VII міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми інженерної механіки» 12-15 травня 2020 р. м. Одеса.

Публікації: Основні положення й результати досліджень опубліковано у 16 наукових працях: з них 11 статей в наукових фахових виданнях (з них 4 статті в періодичних наукових виданнях інших держав, які входять до міжнародних наукометричних баз; 7 статей у фахових виданнях України), 3 тези доповідей

в збірках матеріалів конференцій. Розроблені 1 технічні умови на виробництво порошкової фарби, отримано 1 патент України на винахід.

Структура та обсяг роботи: Дисертація включає список публікацій здобувача, зміст, перелік умовних позначень, вступ, поять основних розділів з висновками, загальні висновки до роботи, список використаних джерел який містить 170 найменувань, додатки. Загальний обсяг дисертації становить 238 сторінки, основний її зміст викладений на 120 сторінках. Всього в дисертації 52 таблиці та 48 рисунків.

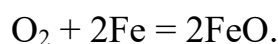
РОЗДІЛ 1

СТАН НАУКОВОЇ РОЗРОБКИ ТЕМИ ТА ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Способи захисту будівельних металевих виробів від корозії

Корозія металевих виробів у будівництві є однією з основних причин виходу з ладу металоконструкцій будівель і споруд та завдає значних економічних втрат. Це виявляється, по-перше, у безпосередній втраті самих металів при корозійному руйнуванні, яка щорічно досягає близько 15 % від кількості усього виплавленого металу та оцінюється в завданні збитків від корозії, що складають 3...4 % від валового національного доходу України [5]. По-друге, корозія є причиною непрямих збитків, зумовлених необхідністю дострокового ремонту чи навіть заміни зруйнованого виробу та конструкції, а також вартістю втрачених продуктів, наприклад, витоком газу, масла та інших шкідливих чи агресивних речовин через отвори, утворені у результаті корозії, що може призвести до пожеж, потужних вибухів з величезними матеріальними втратами і навіть до людських жертв [6]. Тому величезні затрати на заміну чи відновлення вражених корозією будівельних металевих виробів, деталей конструкцій будівель і споруд на їх основі спонукають людство до пошуку ефективних засобів захисту від корозії [7]. Основними причинами пошкоджень конструкційних елементів і самих металевих виробів є корозійні процеси, що розвиваються в результаті несприятливого впливу навколишнього середовища. За механізмом протікання корозії та фізико-хімічним характером, корозійні процеси класифікують на дві великі групи: хімічну і електрохімічну [8].

Хімічна корозія - взаємодія металу з корозійним середовищем, при якому окиснення металу і відновлення окиснюваного компонента протікають одночасно, в одному і тому самому місці, наприклад:



Цей тип корозії спостерігається при дії на метал сухих газів (повітря, продуктів горіння палива і ін.) і рідких неелектролітів (нафти, бензину і ін.) і є гетерогенною хімічною реакцією рідкого або газоподібного середовища (або їх окиснювальних компонентів) з металом [9]. Найбільш поширеним і практично важливим видом хімічної корозії металів є газова корозія – корозія металів у газах при високих температурах.

Принципова відмінність *електрохімічної корозії* від хімічної полягає в тому, що процес протікає в декілька етапів: іонізація атомів металу, тобто окислення, перенесення електронів і відновлення окисного компонента, при цьому швидкість іонізації і відновлення залежать від потенціалу металу [10]. Процес супроводжується протіканням струму між катодними і анодними ділянками кородуючої поверхні (рис. 1.1). Такий механізм корозії реалізується в розчинах електролітів, в розплавах, при корозії металу в атмосферних умовах навколишнього середовища, морській воді, ґрунтах і т.д.

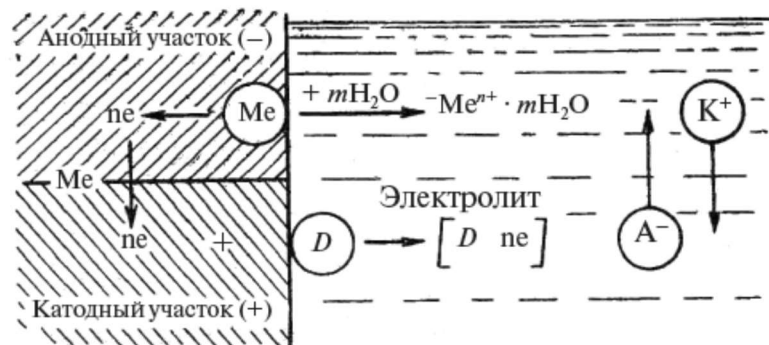


Рис. 1.1. Схема електрохімічного корозійного процесу.

За даними будівельної статистики [7] найбільш поширеними видами корозії металевих виробів, конструкцій, об'єктів і споруд на їх основі, є:

- корозія, зумовлена дією хлорид-, нітрат- і сульфат- іонів; - вуглекислотна корозія, зумовлена підвищеним вмістом у водяній фазі розчиненого вуглекислого газу, кисню і бікарбонатних іонів; - водневе і сульфідне корозійне розтріскування, що відбувається в середовищах, що містять сірководень. Збільшення концентрації хлорид-іонів сприяє безперервному зростанню швидкості корозії вуглецевих сталей [11].

Слід зазначити, що склад і ступінь корозійної агресивності навколишнього середовища встановлюється для конкретних об'єктів залежно від мікрокліматичного району, категорії розміщення конструкцій, характеру технологічних рішень або результатами експериментальних вимірювань на діючих об'єктах [12].

В загальному, корозійна агресивність навколишнього середовища класифікується за ознаками, наведеними у таблиці 1.1, залежно від ступеня агресивності впливу корозійних середовищ згідно нормативного документу [13], які повинні відповідати вимогам технічної документації для конкретних типів металевих виробів і конструкцій, що експлуатуються та заходів захисту їх від корозії. Основною характеристикою агресивних середовищ є характеристичне значення річних корозійних втрат A_p , $г/м^2$, умовно приведені до незахищеної поверхні сталі в умовах її експлуатації.

Таблиця 1.1.

Класифікація корозійної агресивності навколишнього середовища

Ступінь агресивності впливу А1-А6 згідно ДСТУ Б В.2.6-193: 2013			Ступінь агресивності впливу В1-В4 згідно СНиП 2.03.11-85		Категорія корозії С1-С5 згідно ISO 12944:2007
Позначення	Показник корозійної тривкості	A_p , $г/м^2$	Позначення	A_p , $г/м^2$	A_p , $г/м^2$
А1 неагресивний	до 0,01	до 80	В1 неагресивний	до 80	С1 дуже низька ≤ 10
А2 слабоагресивний	0,01 -0,05	80 - 400	В2 слабоагресивний	80 - 400	С2 низька 80 - 200
					С3 середня 200 - 400
А3 низькоагресивний	0,05-0,08	400 650	В3 середньоагресивн ий	400 - 3900	С4 висока 400 - 650
					С5-1 дуже висока (промислова) 650- 1500
					С5-М дуже висока (морська) 650- 1500
А5 дуже високоагресивний	0,20-0,50	1500- 3900			-
А6 Сильноагресивни й	понад 0,50	понад 3900	В4 сильноагресивни й	понад 3900	-

Тому захист будівельних металевих виробів та конструкцій будівель і споруд на їх основі доцільно виконувати з огляду на умови їх експлуатації згідно вищевказаної класифікації корозійної агресивності навколишнього середовища.

Для запобігання чи повного усунення корозії застосовуються численні методи захисту будівельних металевих виробів та конструкцій будівель і споруд на їх основі [14]. Захист металів від корозії полягає у комплексі заходів для збільшення працездатності та надійності металів і конструкційних матеріалів за умов їх експлуатації [15].

В загальному, захист металевих виробів та конструкцій будівель і споруд на їх основі здійснюється при використанні первинного захисту із застосуванням корозійностійких для даного середовища матеріалів та виконанням конструктивних вимог, а також при використанні вторинного захисту, який є найбільш традиційним, із нанесенням на поверхні металу, оксидних, лакофарбових, металізаційно-лакофарбових і мастикових покриттів, плівкових, облицювальних та інших матеріалів [16].

Відповідно до ДСТУ Б В.2.6-193:2013 [17] основними засобами захисту сталевих виробів і конструкцій від корозії є: - гаряче цинкування відповідно до ГОСТ 9.307; - газотермічне напилювання відповідно до ГОСТ 9.031; - ізоляційні покриття з електрохімічним захистом (для конструкцій у ґрунтах) згідно з ДСТУ Б В.2.5-29 та ДСТУ Б В.2.5-30; - фарбування лакофарбовими матеріалами відповідно до ГОСТ 9.032.

З різних методів цинкування виробів зі сталі на частку методу гарячого цинкування припадає близько 95...98 % [18]. Даним методом оцинковують понад 20 млн.т сталеві продукції в рік, в тому числі: 15 млн. т безперервної смуги, 6 млн. т труб і дроту, близько 4,0 млн. т інших виробів при забезпеченні високої корозійної стійкості продукції.

Гаряче цинкування сталі зануренням в розплавлений цинк відомо досить давно [19]. В даний час найбільш широко застосовуються два основних способи гарячого цинкування, яке поділяється на «сухе» і «мокре» в залежності від стану і виду флюсу, а також від того суха чи волога поверхня металу при зануренні

його в цинковий розплав. При цинкування «сухим» способом деталі після травлення і промивання занурюють в розчин флюсу, який знаходиться в окремій ванні. Даний спосіб використовується для цинкування великогабаритних деталей, сталевих конструкцій, а також для безперервного цинкування смуги і дроту [20]. При «мокрому» цинкуванні, протравлені сталеві елементи занурюють в цинк через розплавлений флюс, що знаходиться на поверхні ванни занурення. Даний спосіб найчастіше застосовують для цинкування малогабаритних виробів.

Призначення флюсу полягає у видаленні продуктів реакції заліза з травильними розчинами, які не повністю видаляються при промиванні, а також оксидів, що з'являються на поверхні протравленої сталі під впливом повітря. Застосування флюсів сприяє також зменшенню поверхневого натягу цинку і сприяють змочування поверхні заліза розплавом [21].

До основних недоліків «сухого» способу гарячого цинкування можна віднести високі капіталовкладення, велику потребу в виробничих площах, необхідність контролю вмісту алюмінію в цинковому розплаві, підвищені вимоги до якості і чистоті поверхні виробу. При цьому із застосуванням «сухого» способу цинкування, флюс слід піддавати регулярному хімічному аналізу з подальшим його коригуванням, через те, що склад флюсу постійно змінюється в результаті попадання залишків окислів, а також води. [22]. До основних недоліків «мокрого» гарячого цинкування можна віднести низький вміст алюмінію в розплаві цинку, що призводить до утворення мало пластичних цинкових покриттів з інтерметалідним шаром, значного потовщення покриття, а також обмеження у використанні великогабаритних сталевих виробів та конструкцій внаслідок використання малої площі (спеціальної) флюсової коробки, що робить спосіб відповідним тільки для деталей, які підходять за розмірами флюсового короба.

Слід відмітити, що витрати на захист сталевих виробів та конструкцій методом гарячого цинкування можуть досягати 80 % від собівартості продукції [23]. При цьому отримання мінімальної товщини захисного покриття обмежена

можливим зменшенням ресурсу через механічне пошкодження виробу при експлуатації, що призводить до втрати покриттям захисних властивостей.

Таким чином, застосування засобу захисту сталевих виробів та конструкцій у вигляді гарячого цинкування сприяє отриманню високої корозійної стійкості покриття однак, характеризується низьким економічним ефектом та в достатній мірі не забезпечує стабільність в отриманні якісного покриття.

Для ефективної боротьби з корозією металевих виробів та конструкції високою популярністю користується метод газотермічного напилення [24].

Даний вид захисту - процес одержання покриття із нагрітих та прискорених частинок напилюваного матеріалу із застосуванням високотемпературного газового струменя, в результаті зіткнення яких з основою або напиленим матеріалом відбувається їх з'єднання за рахунок зварювання, адгезії та механічного зчеплення [25].

Загалом газотермічні покриття можна розділити на три основні групи [26]. Захисні, що забезпечують більш довготривалу експлуатацію сталевих виробів та конструкцій; технологічні, що забезпечують захист поверхонь при зміні технологічного процесу; конструкційні, за допомогою яких відновлюється розмір і форма деталі або виконується роль конструкційного матеріалу.

Серед покриттів отриманих методом газотермічного напилення найбільшого застосування знайшли захисні покриття катодного і анодного типів, які досить успішно чинять опір корозії при різних умовах [27]. В якості газотермічних захисних покриттів катодного типу застосовуються корозійно-стійкі металеві порошки на основі Pb, Cr, Cu, Ti. Головною вимогою до газотермічних катодних покриттів є забезпечення їх суцільності виключаючи попадання рідини (електроліта) між поверхнею металу і покриттям, так як в даному випадку буде руйнуватись плівка, що захищає метал, та відповідно, погіршуватись її корозійна стійкість. При дотриманні вказаної вимоги, газотермічні покриття катодного типу ефективно захищають сталеві вироби та конструкції в різних агресивних середовищах [28]. Основним недоліком

вказаних покриттів є високі капіталовкладення для їх отримання, що призводить до зростання собівартості готового продукту.

Для захисту від атмосферної, морської, підземної корозії сталевих виробів та конструкцій широко застосовуються анодні покриття на основі металопротекторів Zn, Al, які мають більш негативний потенціал ніж сталь. Напилення газотермічних покриттів цинку і алюмінію створює довготривалий антикорозійний захист сталевих виробів та конструкцій. Термін служби покриттів із використанням вказаного методу [29] може досягати від 10 до 30 років в залежності від товщини нанесеного шару.

Однак, основними недоліками газотермічних анодних покриттів є недостатня для деяких умов експлуатації міцність зчеплення покриття з основою; низький коефіцієнт використання енергії згоряння газу для нагрівання матеріалу; а також висока пористість покриттів (5-25 %), що обмежує їх використання в високо-корозійних агресивних середовищах без додаткової підготовки сталі.

Популярним засобом захисту сталевих виробів та конструкцій є ізоляційні покриття з електрохімічним захистом, в основу якого входить зниження швидкості корозії шляхом зміщення потенціалу до значення, відповідних вкрай низьким швидкостям розчинення. Суть методу полягає в зменшенні швидкості електрохімічної корозії металу при поляризації електрода від джерела постійного струму при контакті з додатковим електродом, що є анодом по відношенню до кородуючої системи [30].

Електрохімічний захист металів від корозії поділяється на катодний та протекторний. Катодний захист застосовується в тих випадках, коли метал не схильний до пасивації, тобто має протяжну область активного розчинення, вузьку пасивну область, високі значення критичного струму та потенціалу пасивації [31]. При катодному захисті конструкція або будь-який виріб з металу приєднується до негативного полюса джерела постійного струму. У якості анода використовують куски заліза (рейка, балка, металічний лом) або графітову пластину, які занурюють у розчин або закопують у ґрунт. На поверхні

металічного виробу накопичуються електрони, які утримують катіони металу Me^+ на поверхні виробу (рис.1.2)

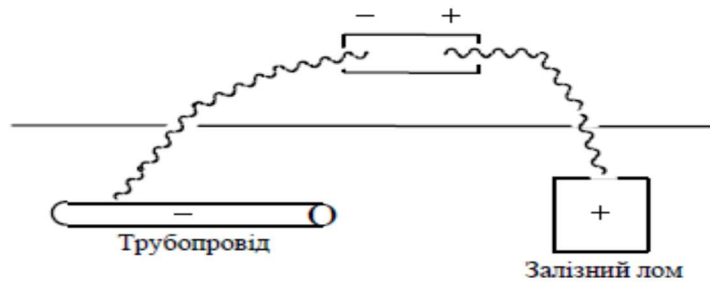


Рис. 1.2. Катодний захист металу від корозії.

Катодний захист з використанням поляризації від джерела постійного струму застосовують для захисту матеріалів з вуглецевих, низько- і високолегованих і високо хромованих сталей, олова, цинку, мідних і міднонікелевих сплавів, алюмінію і його сплавів. Як правило це, металеві вироби та конструкції, які експлуатуються в контакті з морською водою (металеві частини берегових споруд, морських бурових платформ, корпуси суден), внутрішні поверхні резервуарів для хімічної промисловості. Зменшення швидкості саморозчинення металу при його зовнішній поляризації називають захисним ефектом. Регульовані станції катодного захисту застосовують при наявності в системі блукаючих струмів, періодичних змін опору розтікання струму, технологічних коливань. Однак, використання катодного захисту пов'язане з небезпекою отримання, так званого явища пере захисту. Результатом цього явища є воднева крихкість або корозійне розтріскування матеріалів і руйнування захисних покриттів [32].

Протекторний захист працює ефективно, якщо перехідний опір між ним і навколишнім середовищем незначний. Дія протектора обмежена певною відстанню. Максимально можливе віддалення його від конструкції, що захищається, називається радіусом захисної дії катодного захисту.

При протекторному захисті металічну конструкцію сполучають з листами більш активного металу – протектора (рис. 1.3). Так, наприклад, якщо до сталевого виробу або конструкції приєднати цинкову пластину, у корозійному

середовищі сталь буде виконувати роль катода і тому вона не зазнаватиме корозійного руйнування. При цьому окислюється цинкова пластина (протектор), яка виступає у ролі анода, оскільки електродний потенціал цинку менший, ніж потенціал заліза (основного металу сталі). Як протектори можна застосовувати метали: Al, Mg, Zn. [33].

Протекторний захист застосовують для боротьби з корозією металевих конструкцій в морській і річковій воді, ґрунті та інших нейтральних середовищах. Проте, використання протекторного захисту в кислих розчинах є неефективним внаслідок високої швидкості саморозчинення.

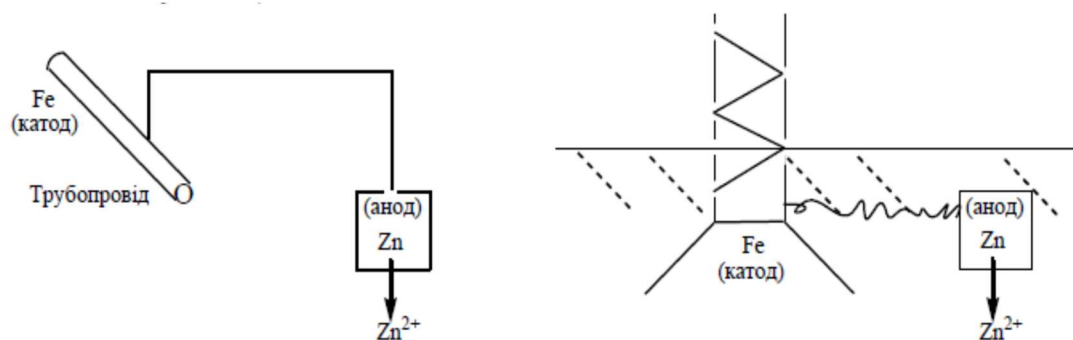


Рис. 1.3. Протекторний захист металу від корозії.

Як свідчить аналіз наведених способів антикорозійного захисту металевих конструкцій, всі вони технологічно досить складні, потребують спеціальних приладів та пристроїв, мають вибірковий характер по відношенню до металевої конструкції. Саме тому, незважаючи на велику кількість різних способів захисту від корозії сталевих виробів та конструкцій, на сьогодні одним із найбільш поширених способів захисту залишається застосування полімерних лакофарбових покриттів [34].

Полімерні захисні покриття – один з основних і надійних способів захисту від корозії. Вони значно дешевші і доступні, мають просту технологію нанесення на поверхню, легко відновлюються в разі пошкодження, а також відрізняються різноманітністю зовнішнього вигляду і кольору.

Основу захисних лакофарбових покриттів складають полімерні плівки переважно органічної природи. Лакофарбова плівка, що захищає від корозії,

формується в основному за рахунок випаровування рідкого компонента і (або) твердіння плівкоутворювача [35]. При цьому захисні властивості лакофарбового покриття обумовлюються фізичними і хімічними властивостями плівки [36], а також зчепленням силами адгезії до субстрату.

За фізичним станом та технологією нанесення захисні покриття на органічній основі поділяються на рідкі та порошкові. Традиційний вид лакофарбової продукції представлений рідкими фарбами-розчинами, в складі яких містяться полімери, отримані способами твердіння в розчинах і органічних розчинниках. Застосування органо-розчинних складів пов'язано з тим, що плівкоутворювачі переважно розчиняються в органічних розчинниках, а не в воді [37].

Основним компонентом, від якого залежать фізико-механічні та експлуатаційні властивості рідких лакофарбових покриттів є плівкоутворювачі. Тому лакофарбові матеріали для захисту сталевих виробів та конструкцій згідно ДСТУ ISO 12944-5:2020 [38] розрізняються за видом плівкоутворювача:

1. Алкідні (АК) – плівкоутворюючою речовиною є модифікована маслом поліефірна, епоксидна або уретанова смола. Утворюються шляхом випаровування розчинника та / або води, а також реакцією плівкоутворюючої речовини з киснем в атмосфері. Однак дані покриття характеризуються низькою еластичністю та недостатньою стійкістю до ультрафіолетових променів, що знижує ефективність їх використання для зовнішнього застосування. При додатковому введенні спеціальних хімічних домішок стійкість до ультрафіолету та корозійна стійкість покриття зростає.

2. Акрилові (АУ) – суміш акрилових полімерів і відповідного пластифікатора. В основному використовуються для ґрунтувальних, проміжних і верхніх шарів захисного покриття при забезпеченні високої стійкості до впливу кліматичних факторів. Основним недоліком є довготривалий термін затвердіння покриття.

3. Цинк-етилсилікатні (ESI) – двокомпонентна суміш етилсиліката та цинкового порошку, яка сприяє отриманню покриття із високим захистом сталі

від корозії в атмосферних умовах у всіх кліматичних районах, в морській і прісній воді, у водних розчинах солей. Проте, основними недоліками застосування вказаних покриттів є висока їх токсичність; недостатня адгезія з фінішними покриттями, а також знижений коефіцієнт електропровідності, що позначається на антикорозійному захисту.

4. Епоксидні (EP) – двокомпонентна суміш епоксидної смоли та зшиваючого агента у вигляді амінів і амідів. Отримане епоксидне покриття не розчиняється в розчинниках, характеризується високою адгезією до поверхні і твердістю, а також є стійким до дії лугів, соляних розчинів, розбавлених кислот. Однак під дією ультрафіолетових променів епоксидні покриття піддаються пожовтінню за рахунок деструкції полімеру під дією УФ, що призводить до погіршення декоративних та фізико-механічних властивостей покриттів та знижує ефективність їх використання для зовнішнього застосування.

5. Поліуретанові (PU) – двокомпонентна суміш акрилової або поліефірної смоли гідроксильної групи та зшиваючого агента у вигляді ізоціанатних з'єднань. В основному застосовуються для заглиблених в ґрунт або занурених у морську воду сталевих конструкцій, при забезпеченні високої корозійної та хімічної стійкості. Проте під впливом УФ-випромінювання дане покриття піддається крейдуванню та пожовтінню.

6. Полісилоксанові (PS) – суміш на основі органічної смоли (наприклад, епоксидної або акрилатної), метоксі-функціональної силіконової смоли, а також аміносиланом, який є зв'язуючим агентом між органічною і силіконовою смолою. Отримані покриття характеризуються високими корозійною та хімічною стійкістю, при збереженні високих механічних властивостей. Проте під впливом УФ-випромінювання дане покриття також піддається крейдуванню та пожовтінню.

В загальному, використання рідких лакофарбових матеріалів для захисту сталевих виробів та конструкції є ефективним, за рахунок забезпечення високої корозійної та хімічної стійкості покриттів на їх основі. Однак основним недоліком використання рідких лакофарбових матеріалів є вміст у їхньому

складі розчинників до 40 %, що неминуче призводить до їх емісії при виробництві та нанесенні, а також забруднення оточуючого середовища леткими органічними сполуками (ЛОС) [39]. При цьому доцільність зниження використання лакофарбових матеріалів на основі розчинників в Європі була зумовлена введенням директиви 1999/13/ЄС, яка накладає заборону на виробництво матеріалу з викидами органічних розчинників, що перевищують встановлені межі, та директиви 2004/42/ЄС про лакофарбові продукти, яка вводить нові обмеження на вміст летких органічних сполук в певних продуктах і матеріалах таких, як лакофарбові покриття [40]. Вирішення цієї проблеми слід шукати в розширенні виробництва і застосування екологічно чистих порошкових лакофарбових матеріалів [41], з практично відсутніми ЛОС в їх складі (рис. 1.4).

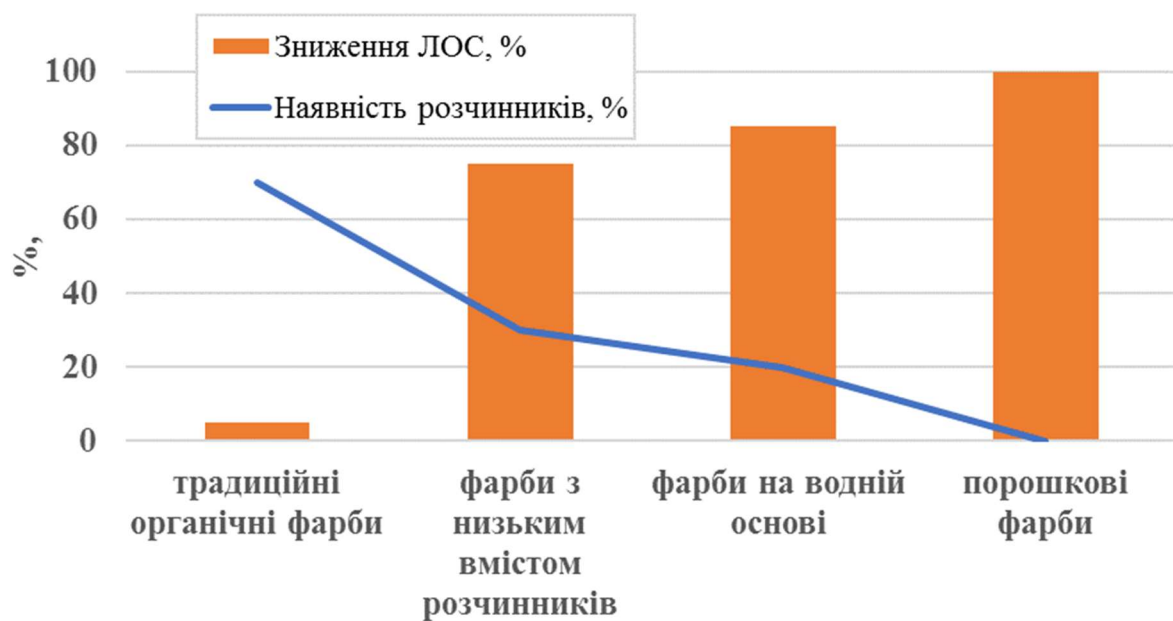


Рис. 1.4. Порівняння вмісту ЛОС в лакофарбових матеріалах.

Порошкова фарба – матеріал який є одним з найбільш перспективних для створення техніко-економічного та екологічного захисного покриття для широкого спектру будівельних матеріалів, в т.ч. металевих виробів та конструкцій [42].

Тому впродовж останніх років в світі приділяється значна увага екологічним аспектам виробництва і використання лакофарбових матеріалів, що призвело до

неухильного зростання обсягів виробництва й застосування порошкових фарб [43]. В Україні порошкові фарби також набувають все більшого розповсюдження [44].

Швидкі темпи виготовлення порошкових фарб для захисту металевих виробів та конструкцій в порівнянні з рідкими лакофарбовими матеріалами, свідчать про їхню важливість, високу ефективність і перспективність [45].

Фактором їх ефективності є і довговічність покриттів. Покриття на основі порошкових фарб в більшості випадків показують вищі захисні властивості і мають більший термін служби, ніж покриття з розчинів і дисперсій полімерів [46]. Це пояснюється тим, що порошкові фарби не містять посередників плівкоутворення (розчинників, води) і ПАР, а готуються переважно на термореактивних олігомерах і полімерах кристалічної структури з підвищеною хімічною стійкістю.

Технологія застосування декоративно-захисних покриттів на основі порошкових фарб має ряд переваг в порівнянні з фарбами на основі рідких систем: порошкові фарби постачаються на будівельні заводи вже в повністю готовому вигляді, вони не потребують підготовки, перемішування, розмішування та регулювання в'язкості [47], легко забезпечується утилізація та рециклінг порошкових фарб, тим самим збільшується економічність виробництва. Знижуються енерговитрати на виробництво покриттів у зв'язку з відсутністю розчинників (не потребується додаткове очисне та вентиляційне обладнання повітря, зменшення енергозатрат.) Надається можливість повної автоматизації виробництва, що дає змогу зменшити кількість робочого персоналу та виробничих площ, а також збільшити виробничі потужності.

Разом з тим, очевидно, що за відносно короткий період свого розвитку сучасні порошкові лакофарбові матеріали не вичерпали всі можливості вдосконалення рецептур при забезпеченні високих експлуатаційних властивостей та корозійної стійкості покриттів на їх основі [48].

Тому подальші дослідження по вдосконаленню рецептур будуть сприяти швидким темпам розвитку технології виготовлення порошкових фарб та їх

нанесення на сталеві вироби та конструкції, що призведе до зменшення економічних витрат та підвищення довговічності таких конструкцій. У зв'язку з цим є актуальним подальший розвиток теоретичних і експериментальних основ розробок і виробництва декоративно-захисних порошкових фарб та покриттів на їх основі з метою підвищення довговічності сталевих виробів та конструкцій під час їх експлуатації, зниженням енерговитрат на виробництво порошкових лакофарбових матеріалів та покращення екологічної ситуації в Україні у зв'язку з відсутністю розчинників в їх складі. Останнє необхідно в зв'язку з надмірними викидами шкідливих речовин в т.ч. ЛОС в навколишнє середовище.

1.2. Порошкові лакофарбові матеріали для захисту сталевих виробів та конструкцій: переваги та недоліки представників рецептурного складу.

Порошкові фарби – продукти, що за фізичним станом відносяться до твердих тіл, кінцевий виріб яких є об'єкти з покриттям. Незважаючи на те, що порошкові фарби за фізичним станом відносяться до твердих тіл, є ряд ознак, які зближують їх з рідинами: здатність переміщуватись при роз'єднанні частинок за допомогою газового потоку та заряджатися подібно гідрозолей в електричному полі високої напруги.

Перші термореактивні порошкові фарби та покриття на їх основі було створено на початку 1950-х рр, в результаті дослідницької роботи, проведеної компанією «Shell Chemicals» [49]. Метою наукових досліджень була розробка захисних органічних покриттів для металевих конструкцій при будівництві газопроводів та нафтопроводів компанії. Перші порошкові системи були відносно простими, вони являлись фізично сухими сумішами епоксидних смол, зшиваючих агентів і пігментів. Однак через значну ступінь неоднорідності отриманого покриття результати їх впровадження були досить непослідовними.

Системи порошкових лакофарбових матеріалів, що використовуються в даний час, були розроблені в лабораторіях Англії та Нідерландів в період 1962-

1964 років [50]. У 1964 році на ринку з'явилися перші декоративні епоксидні / диціандіамідні (DICY) порошкові покриття. У той же період у Франції було розроблене перше обладнання для електростатичного напилення органічних порошкових фарб [51], це зробило вагомий внесок в успішний розвиток декоративно-захисних порошкових лакофарбових матеріалів, оскільки вперше можна було отримати покриття з допустимо-прийнятною товщиною шару.

Основним технологічним процесом у виготовленні термореактивних порошкових фарб, що застосовується і по сьогодні, став метод екструзії, "запозичений" у 1960-х роках у пластмасової промисловості [52]. Ключовою подією стрімкого розвитку органічних порошкових фарб стало розробка в 1962 р. компанією «SAMES» першого обладнання для електростатичного нанесення порошків на поверхню виробу / деталі [53]. В процесі нанесення порошок пневматично подавався з резервуара через пістолет-розпилювач, де він отримує заряд з низькою силою струму і високою напругою та наносився на поверхню деталі. Чисті деталі для фарбування розміщено в порошкову камеру і заземлені так, щоб заряджені частинки порошку притягувалися до поверхні деталей. Порошок залишається прикріпленим до деталі до тих пір, поки він залишається електростатично зарядженим. Це зробило вагомий внесок в успішний розвиток декоративно-захисних порошкових лакофарбових матеріалів, оскільки вперше можна було отримувати покриття з допустимо-прийнятною товщиною шару. Проте одним з серйозних недоліків порошкової системи з використанням термореактивних епоксидних смол та DICY було їх низька стійкість до ультрафіолету, що провокувало пожовтіння покриття, обмежуючи їх використання для зовнішнього застосування.

Реальний прорив у розвиток декоративно-захисних порошкових покриттів був зроблений в 1971 році компанією SCADO BV у Нідерландах [54] оскільки виявлено, що покриття можуть бути одержані шляхом нагрівання розплаву карбоксил-функціональних смол та епоксидних сполук у вигляді смол бісфенолу А (поліефірні/епоксі-поліефірні), які забезпечували волого- та хімічну стійкість. Після цього, у Швейцарії для захисту алюмінієвих виробів почали

використовувати стійкі до впливу навколишнього середовища поліефірні системи на основі тригліцидилізоціанурату (TGIC), що вироблялися компанією «VP Landshut» в Західній Німеччині. На сьогодні, вказані системи є одними із домінуючих на ринку порошкового фарбування [55].

Розробка нових систем порошкового покриття також інтенсивно розвивається завдяки удосконаленню обладнання для їх виробництва та застосування [56].

В загальному, порошкові фарби використовуються в найрізноманітніших сферах застосування (рис. 1.5). При цьому найбільшу частку займають порошкові лакофарбові матеріали саме для захисту будівель та споруд на базі металевих виробів та конструкцій [57].



Рис. 1.5. Сфери застосування порошкових фарб.

В основному, порошкові лакофарбові матеріали – багатокомпонентні системи, що складаються з твердих частинок плівкоутворюючої основи, зшиваючого агенту, наповнювачів, пігментів та функціональних добавок. Вони можуть бути непігментованими - лаками і пігментованими - фарбами.

У хімічному відношенні виділяють дві групи сировинних матеріалів для виготовлення порошкових покриттів: на основі термопластичних і на основі термореактивних плівкоутворювачів [58]. Перші утворюють покриття без

хімічних перетворень, в основному за рахунок розплавлення частинок порошку і охолодження розплавів – термопластичні. У другому випадку відбувається процес затвердіння при нагріванні смоли, або в результаті взаємодії смоли із спеціально введеним зшиваючим агентом – термореактивні.

Основними плівкоутворюючими матеріалами для отримання термопластичних порошкових фарб є полівінілхлорид, полівінілденфторид, поліолефіни у вигляді поліпропілену та поліетилену, а також поліаміди. Другорядними компонентами даних фарб є пігменти, наповнювачі та функціональні добавки. За фізичним станом термопластичні порошкові фарби характеризуються відносно великим розміром часток (до 200-300 мкм), що відповідно, зумовлює до отримання порошкового покриття із товщиною 200 мкм і більше.

Плівкоутворювачі у вигляді полівінілхлориду (ПВХ) та сополімери вінілхлориду є одними з перших полімерів, що було застосовано для виготовлення термопластичної порошкової фарби. В загальному, отримані порошкові покриття на їх основі характеризуються високою стійкістю до ударів, хімічною та корозійною стійкістю, а також підвищеними діелектричними властивостями [59]. Однак ПВХ за своєю природою є крихким полімером, що негативно впливає на гнучкість покриття, при цьому термопластичні порошкові покриття на основі ПВХ характеризується низькою атмосферостійкістю, що унеможливує їх використання зовні. Основною причиною є чутливість в'язучої речовини до ультрафіолетового спектру нижче 350 нм, що призводить до погіршення фізико-механічних характеристик покриття.

Ефективним представником вінілових полімерів, що проявляє високу атмосферостійкість покриття, є полівінілденфторид (ПВДФ). Термопластичні порошкові покриття на його основі характеризуються низьким тертям та поглинанням бруду, відміною гнучкістю, а також високою атомосферо-, корозійно- та хімічною стійкістю [60]. Однак до основних недоліків порошкового покриття на основі ПВДФ можна віднести високу в'язкість плавлення, що призводить до утворення щілин під час нанесення тонких плівок

на металеву поверхню, а також відносно високу ціну покриття. Слід відмітити й низьку адгезію покриття до поверхні металевих виробів та конструкцій.

Одним з перших порошкових термопластичних покриттів, яке було застосовано за допомогою методу нанесення в киплячому шарі на початку 1950-х років, було засноване на основі поліолефінів у вигляді поліетилену [61], для виготовлення порошкових покриттів переважно використовується поліетилен, як низької, так і високої щільності. Зі зменшенням щільності поліетилену підвищується ударостійкість, адгезія, проникність та прозорість покриття. З іншого боку, зменшення щільності призводить до зниження жорсткості, твердості, стійкості до стирання та хімічної стійкості покриття.

Іншим представником поліолефінів, який використовується в якості плівкоутворювача для термопластичної порошкової фарби є поліпропілен. Порошкове покриття на основі поліпропілену характеризується високими поверхневою твердістю та стійкістю до подряпин, стійкістю до стирання і хімічних розчинників [62], проте поліпропілен характеризується вищою крихкістю порівняно з поліетиленом, що обумовлено вищою температурою склування полімеру.

В загальному, поліолефінові порошкові покриття характеризуються високими механічними властивостями та стійкістю до різних видів розчинників, миючих засобів, кислот та основ [63]. Проте, основним недоліком порошкових покриттів на основі поліолефінів є їх низька адгезія до металу або інших субстратів. Тому, перш ніж успішно використовувати поліетиленові та поліпропіленові порошкові покриття, поверхню, яку потрібно покрити, необхідно обробити ґрунтувальним шаром. При цьому порошкове покриття на основі поліолефінових полімерів характеризується низьким естетичним виглядом поверхні, що унеможлиблює їх використання в якості декоративного шару.

Термопластичні поліамідні порошкові покриття було розроблено з використанням нейлону в якості плівкоутворюючого компоненту. Для нанесення нейлонових порошкових покриттів переважно використовується метод

псевдозріженого шару. Високі фізико-механічні властивості порошкових покриттів на основі нейлону дають їм перевагу перед іншими порошковими покриттями [64]. Вони характеризуються високою стійкістю до стирання в поєднанні з високою стійкістю до ударів навіть при від'ємній температурі. Їх низький коефіцієнт тертя та зносостійкість роблять їх відмінними міжфазними покриттями для зменшення зносу або шуму під час їх експлуатації. Висока теплоізоляція - ще одна відмінна особливість нейлонових порошоків. Крім цього, нейлонові порошкові покриття характеризуються високою стійкістю до хімічних розчинників, неорганічних солей та лугів, за рахунок формуванню в структурі, міцних з'єднань амідних груп.

Основним недоліком покриттів на основі нейлонових плівкоутворюючих речовин є їх низька атмосферостійкість, що призводить до погіршення фізико-механічних властивостей матеріалу [65]. Слід зазначити, що перед застосуванням нейлонових порошкових покриттів рекомендується використовувати попередній ґрунтувальний шар для забезпечення високої адгезії до поверхні металу.

Проблеми, притаманні термопластичним порошковим покриттям, успішно знівелювано при застосуванні термореактивних. Під час затвердіння порошкових покриттів на основі термореактивних полімерів відбувається реакція зшивання системи покриття в присутності каталізаторів, що зумовлює використання полімерів зі значно меншою молекулярною масою та, відповідно, меншою в'язкістю розплаву. В результаті чого високий вміст пігментів і наповнювачів може бути успішно дисперговано і включено в систему лакофарбового матеріалу, що сприяє забезпеченню високої якості продукту при його низькій собівартості. При цьому за рахунок ефективного зшивання плівки покриття забезпечується високі фізико-механічні характеристики та хімічна стійкість матеріалу.

Слід зазначити, що нанесення термореактивного порошкового покриття не потребує використання попереднього шару ґрунтовки.

На сучасного етапі розвитку обсяг світового виробництва термореактивних

порошкових покриттів становить близько 80 % від загального випуску порошкових лакофарбових матеріалів, що свідчить про їх ефективність [66]. Терморективні порошкові фарби відрізняються від термопластичних тим, що мають в своїй основі термотвердіючі смоли, що відрізняються меншою молекулярною масою, піддаються розплавленню і розширенню під час нагрівання, та хімічно зшиваються з іншими компонентами порошкової системи, що беруть участь в хімічній реакції, утворюючи в результаті з'єднання із незворотною структурою. Завдяки цьому, терморективні порошкові фарби забезпечують отримання товщини полімерних покриттів, ідентичної при застосуванні традиційних рідких лакофарбових матеріалів, забезпечуючи при цьому високі фізико-механічні та експлуатаційні характеристики [67].

Матеріали цієї групи виготовляють на основі плівкоутворюючих олігомерів, які сприяють отриманню якісних покриттів із товщиною 30...80 мкм, що і визначило їх високу конкурентоспроможність в порівнянні з покриттями на основі рідких фарб.

В якості плівкоутворюючих матеріалів для отримання терморективних порошкових покриттів в основному застосовують епоксидні, акрилатні, гібридні, поліуретанові та поліефірні смоли [68].

Перші терморективні порошкові фарби, було розроблено з використанням плівкоутворювача у вигляді епоксидної смоли. В загальному, основними переваги терморективних епоксидних порошкових покриттів порівняно з іншими системами є відмінна стійкість до хімічних речовин та розчинників у поєднанні з високою водостійкістю. При цьому наявність вільних ОН груп, рівномірно розподілених по ланцюгу смол, забезпечує відмінну адгезію до металевих поверхонь, та високу корозійну стійкість. Саме тому в 2006 році було застосовано епоксидні покриття в якості ґрунтуючого шару для забезпечення високої корозійної стійкості однієї з найдовшої в світі мостової споруди (30 км), що перетинає затоку Ханчжоу [69]. Іншими особливостями епоксидних порошкових покриттів є висока стійкість до стирання та подряпин, а також високі діелектричні характеристики.

Одним з основних недоліків порошкового покриття на основі епоксидних смол є чутливість до ультрафіолетового світла. Так, авторами [70] показано, що епоксидне порошкове покриття характеризується зниженням рівня блиску з 80 % до 10 % через 200 годин випробування під дією ультрафіолетових променів із прискореним вивітрюванням, порівняно з термореактивними порошковими покриттями на основі акрилу, поліуретану та поліефіру, які зберігають 98 % блиску від початкового показника. Тому стійкість до ультрафіолету порошкових епоксидних покриттів є досить низькою. У відносному діапазоні шкали [71] де 10 вказує на пожовтіння по всій поверхні порошкового покриття, а 0 – відсутня жовтизна, системи на основі епоксидних смол є одними з найгірших та відносяться до показника 10.

Таким чином, застосування термореактивних порошкових покриттів на основі епоксидних смол обмежується переважно для внутрішнього застосування, де не висувається стійкість до ультрафіолету.

Наступний вид термореактивних порошкових матеріалів, що об'єднує застосування епоксидних функціональних груп є акрилові плівкоутворювачі, які переважно отримують на основі акрилових смол із зшиваючими агентами у вигляді епоксидної смоли, блокованих ізоціонатів та дикарбонових кислот [72].

Незважаючи на те, що акрилові покриття, що містять розчинники є найефективнішими рідкими лакофарбовими матеріалами для зовнішнього застосування, в термореактивному порошковому покритті вони не характеризуються високими фізико-механічними та експлуатаційними характеристиками [73]. Механічні властивості акрилів у вигляді порошкових покриттів, є одними із найгірших серед термореактивних порошкових систем. У більшості випадків ударостійкість акрилових порошкових покриттів не перевищує 20 см/кг, що є на 50...80 % нижче, ніж у епоксидних і поліефірних порошкових покриттів. При цьому, стійкість до вивітрювання, хімічна стійкість яка є сильною стороною рідких акрилів, виявилась низькою в порошкових покриттях. Тому застосування акрилових порошкових покриттів для

забезпечення високого захисту металевих виробів на конструкції є неефективним.

Інший вид термореактивних порошкових покриттів відомий під назвою «гібриди», розроблено на основі комбінації плівкоутворювачів у вигляді полієфіру карбоксильної групи та епоксидної смоли типу бісфенолу А яка використовується в якості зшиваючого агента [74]. Даний вид матеріалу з'явився в результаті спроб поліпшити стійкість до УФ-випромінювання чистого епоксидного порошкового покриття. Хоча це і не принесло ефективного результату, але все ж посприяло створенню нової категорії порошкових композицій, що володіють високими фізико-механічними характеристиками зі зниженою собівартістю матеріалу.

Вперше, порошкові лакофарбові матеріали на основі гібридних систем, в якому епоксидна смола бісфенолу А використовується в якості зшиваючого агента, було отримано в 1961 році [75]. Співвідношення між полієфірною та епоксидною смолами часто використовується для назви цих систем – 50/50, 60/40, 70/30, тощо [76]. Перше число вказує на кількість полієфіру, а друге на кількість епоксидної смоли в порошковій системі. Співвідношення між полієфірною та епоксидною смолою залежить також від кислотного значення полієфірної смоли та епоксидної еквівалентної ваги зшиваючого агента.

Збільшення вмісту епоксидної смоли в системі, в цілому підвищує стійкість до киплячої води та хімічну стійкість покриттів, але, з іншого боку, негативно впливає на стійкість до УФ-випромінювання та зносостійкість. Тому також було розроблено гібридні системи, в яких використовується лише 15 % епоксидної смоли бісфенолу А [77], що в свою чергу посприяло отриманню значної стійкості до УФ-випромінювання покриття в поєднанні з відмінною ударною стійкістю.

Основними перевагами застосування гібридних матеріалів є висока зносостійкість; стабільність кольору при формуванні і експлуатації покриттів; а також високі механічні властивості, та підвищена (в порівнянні з епоксидними покриттями) атмосферостійкість. Однак, основними недоліками гібридних матеріалів є недостатня водостійкість та корозійна стійкість покриттів. При

цьому підвищена атмосферостійкість гібридного покриття порівняно із епоксидними системами, не забезпечує ефективної стійкості матеріалу до дії ультрафіолетових променів, що унеможлиблює їх використання при зовнішньому захисті металевих виробів та конструкцій.

Враховуючи те, що порошкові лакофарбові матеріали для зовнішнього застосування повинні бути стійкими до впливу води у вигляді дощу та снігу, морозу, ультрафіолетового випромінювання від сонячних променів, агресивної промислової атмосфери, що містить хімічні речовини, найбільш перспективним є використання поліефірних порошкових лакофарбових систем для захисту металевих виробів та конструкцій.

Дані поліефірні порошкові матеріали підрозділяються на два основні класи [78] поліуретанові та поліефірні плівкоутворювачі, що містять тригліцидилізоціанурат (TCIC) або гідроксіалкіламід (Primid XL-552) у вигляді зшиваючих агентів.

В основі поліуретанових лакофарбових матеріалів використовується гідроксильовані поліефірні смоли, асоційовані з ізоціанатами, що утворюють поліуретани при температурному зшиванні.

Ізоціанати, що використовуються в якості зшиваючих агентів для отримання порошкового покриття на основі гідроксильних поліефірів, можуть мати ароматичний або аліфатичний тип [79]. Ароматичні ізоціанати у вигляді похідних толуолу-діізоціанату є дуже привабливими з цінової точки зору. Однак, головним недоліком їх використання – є отримання недостатньої стійкості до прямих сонячних променів покриття, через окислення ароматичних аміногруп зшиваючого агента, під дією ультрафіолету.

Тому для запобігання окислення ізоціанатних груп з гідроксильними групами поліефірної смоли необхідним є використання аліфатичних ізоціанатів в якості зшиваючих агентів [80]. Комплекс ізофорондіізоціанату (ІФД) з ϵ -капролактамом в якості блокуючого агента є найбільш часто використовуваними зшиваючим агентом, що застосовують для виготовлення поліуретанових порошкових покриттів. Отримані покриття характеризуються найвищим

показником гладкості поверхні порівняно з іншими порошковими системами, а також високими показниками зносостійкості та стійкості до ультрафіолетового світла. Крім цього, авторами [81] було досліджено вказану систему щодо корозійної стійкості на сталевій підкладці, та виявлено, що використання зшиваючого агента аліфатичного типу у вигляді ІФД з ϵ -капролактамом забезпечує високі показники корозійної стійкості.

Основним негативним ефектом є те, що капролактаму в складі продуктів реакції, досить активно виділяється під час затвердіння порошкового покриття, що може призвести до утворення поризованої структури полімерної плівки [82]. При цьому наявність і можливе вивільнення капролактаму в навколишнє середовище є негативним з екологічної точки зору.

Перші порошкові лакофарбові системи на основі поліефірного плівкоутворювача та зшиваючого агента у вигляді TGIC також забезпечили суттєве поліпшення довговічності покриття на відкритому повітрі порівняно з гібридними системами [83]. Так, для порівняння, гібридні системи демонструють зниження на 50 % початкового блиску через 200 годин їх витримування в штучній камері прискорених погодних умов (QUV). В той же час, системи TGIC демонструють 50 % утримання початкового блиску через 600 годин їх витримування в камері QUV. Зменшення блиску пояснюється фотохімічною деградацією поліефірної смоли, спричиненою світлом, киснем, теплом та вологою, генеруючи фото-індуковане окислення поліефіру. При цьому окислений поліефір додатково гідролізується під дією вологи та тепла [84].

Слід також відмітити високу стійкість до УФ-випромінювання порошкових покриттів з використання TGIC при підвищених температурах затвердіння: 30-хвилинне тверднення покриття при температурі 220 °C зазвичай призводить до зміни кольору (ΔE) не більше 0,2...0,3 [85].

Значне підвищення стійкості до УФ-випромінювання системи поліефірний плівкоутворювач / TGIC можна досягти шляхом заміни терафталевої кислоти (ТФК) ізомером ізофталевої кислоти (ІФК), як основної діацидної складової в поліефірі [86]. Показано, що отримані, таким чином, поліефірні смоли

характеризуються в чотири рази більшою атмосферною стійкістю (Qualicoat Florida), порівняно із традиційними поліефірами. Однак, вказана заміна кислот призводить до помітної втрати гнучкості поліефірних порошкових покриттів, що виключає їх використання в якості рулонних покриттів для металевих підкладок, які використовуються в зовнішній архітектурі.

В загальному, порошкові лакофарбові матеріали на основі системи поліефірного плівкоутворювача / TGIC характеризуються відмінними твердістю, стійкістю до ударів, та стирання, а також стійкістю до ультрафіолетових променів. Адгезійні властивості систем TGIC також є високими, що не потребує додаткового використання ґрунтувального шару. Проте, основними недоліками використання вказаної системи є токсичність TGIC, який може провокувати подразнення дихальних шляхів і слизових оболонок.

Тому одним з найбільш ефективних зшиваючих агентів для поліефірних лакофарбових систем які були представлені на ринку, як TGIC-альтернативи, є застосування β -гідроксиалкіламід (НАА) з торговою назвою "Primid" або "Vestagon EP-NA" [87].

В основному, термореактивне порошкове покриття на основі системи поліефірний плівкоутворювач / НАА характеризується високими механічною і хімічною стійкістю, а також гнучкістю і стійкістю до ударів [88]. Особливою перевагою поліефірних порошкових покриттів на основі поліефір/НАА є те, що вони характеризуються високою стійкістю до ультрафіолетового випромінювання, що робить їх відмінним вибором для всіх внутрішніх і зовнішніх застосувань [89].

Забезпечення високої хімічної та корозійної стійкості поліефірних порошкових покриттів визначається, головним чином, особливостями процесів формування структури матеріалу шляхом правильно підбраного складу основного плівкоутворювача та його характеристик, що містить різні функціональні групи. Разом з тим, правильний вибір природи основної діючої речовини наповнювача відіграє важливу роль у формуванні властивостей поліефірних порошкових фарб та покриттів на їх основі при забезпеченні високої

хімічної та корозійної стійкості матеріалу [90]. Так, авторами [91] виявлено, що вплив різних за своєю природою наповнювачів на структуру та властивості поліефірних композиційних матеріалів визначається їхнім концентраційним складом, природою та особливостями взаємодії з полярними групами полімерів.

Слід також зазначити, що реакція затвердіння між карбоксильним поліефіром та НАА - це не поліпрієднання як у TGIC, а реакція поліконденсації із виділенням частини води під час отримання покриття [92]. Це призводить до відмінностей в поверхневому натягу між НАА і неполярним поліефіром на поверхні порошкових покриттів з використанням НАА, що в свою чергу може викликати утворення голчастих отворів при підвищеній товщини полімерної плівки порівняно із традиційними системами з використанням TGIC, та негативно впливати на формування властивостей покриття. Тому даний недолік може бути зменшено шляхом правильного вибору функціональних добавок, які сприяють регулюванню структури порошкового покриття на основі системи поліефірний плівкоутворювач / НАА.

Таким чином, практика застосування та аналіз всіх аспектів переваг термореактивних порошкових лакофарбових матеріалів дозволяють зробити висновок про те, що з точки зору економіки, технологічності, нормам екології, декоративно-захисним покриттям на основі порошкових фарб майже нема альтернативи, що обумовлює необхідність їх поглибленого дослідження з метою отримання нових різновидів, що забезпечують високі фізико-механічні та експлуатаційні властивості матеріалу. Основним відкритими питаннями є підвищення корозійної стійкості порошкових лакофарбових систем залежно від плівкоутворюючого компоненту, зшиваючого агента, виду і витрати наповнювача в системі; вивчення механізму впливу функціональних добавок різної природи основної діючої речовини для покращення технологічних і експлуатаційних властивостей матеріалу; проведення досліджень у напрямку вдосконалення технологічних методів отримання порошкових фарб та покриттів на їх основі з високими експлуатаційними характеристиками.

1.3. Роль наповнювачів у формуванні властивостей порошкових фарб та покриттів на їх основі.

Наповнювач є одним з п'яти основних компонентів порошкових лакофарбових матеріалів, які включають плівкоутворювачі, зшиваючі агенти, пігменти і функціональні добавки. Зазвичай наповнювачі представляють собою органічні або неорганічні речовини з високою хімічною стабільністю і виготовляються штучним або природним шляхом, як мінерали [93]. Наповнювачі виконують дві основні функції в полімерній системі: перша полягає в зниженні витрат за рахунок зменшення дозування плівкоутворюючої речовини, яка зазвичай є основною витратною частиною в системі; друга – модифікація функціональних властивостей матеріалу, таких як твердість, блиск, міцність на згин та удар, модуль пружності, проникність, корозійна стійкість [94]. Ефективне наповнення порошкових лакофарбових матеріалів є складним процесом, яке вимагає спеціальних досліджень.

При створенні порошкових лакофарбових матеріалів необхідно враховувати характеристики не тільки самої полімерної матриці, але і наповнювачів [95], а саме:

- міжфазну взаємодію частинок наповнювача і полімеру та адгезію полімеру до наповнювача;
- ступінь змочування частинок наповнювача полімерним зв'язуючим;
- співвідношення між наповнювачем та полімерною матрицею;
- фізико-хімічні процеси, що відбуваються на межі розділу зв'язуючого і наповнювача.

Існує значна різноманітність хімічних структур, форм, розмірів і властивих характеристик різних неорганічних і органічних хімічних сполук, які використовуються в якості наповнювачів для полімерних матриць. Тому автором [87] запропоновано класифікацію наповнювачів на неорганічні або органічні

речовини та додатково поділено відповідно до хімічної групи (табл. 1.2) або відповідно до їх форми та співвідношення сторін (табл. 1.3).

Таблиця 1.2.

Класифікація наповнювачів за хімічною групою для полімерних матриць.

Хімічна група	Найменування
Неорганічні	
Оксиди	Скло (волокна, сфери, порожнисті сфери та пластівці), MgO, SiO ₂ , Sb ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ та ZnO
Гідроксиди	Al(OH) ₃ and Mg(OH) ₂
Солі	CaCO ₃ , BaSO ₄ , CaSO ₄ , фосфати
Силікати	Тальк, слюда, каолін, воластоніт, монтморилоніт, польовий шпат та азбест
Метали	Бор і сталь
Органічні	
Карбон, графіт	Вуглецеві волокна, графітові волокна, вуглецеві нанотрубки та сажа
Натуральні полімери	Целюлозні волокна, деревне борошно та волокна, льон, бавовна та крохмаль
Органічні полімери	Поліамідні, поліефірні, арамідні та полівінілові спиртові волокна

Таблиця 1.3.

Класифікація наповнювачів за морфологією для полімерних матриць.

Форма	Співвідношення сторін	Найменування
Куб	1	Польовий шпат і кальцит
Сфера	1	Скло
Призма	1-4	Кварц, кальцит, кремнезем та барит
Пластична	4-30	Каолін, тальк і водний глинозем
Пластівці	50-200	Наноглини слюди, графіту та монтморилоніту
Волокно	20-200	Воластоніт, скляні волокна, вуглецеві нанотрубки, деревні волокна, азбестові волокна та вуглецеві волокна

Іншими важливими характеристиками наповнювачів, які впливають на формування властивостей порошкового покриття є: розмір частинок, який впливає на блиск, гладкість, текстуру та проникність порошкового покриття; маслоємність, яке має значний вплив на розтікання і гладкість порошкового покриття; питома вага, що впливає на якість та ефективність нанесення порошкового покриття.

Найбільш часто використовуваними наповнювачами для виготовлення порошкових фарб є мінерали, такі як карбонат кальцію, сульфат барію, гідроксид алюмінію, слюда та воластоніт [96]. Останніми доповненнями наповнювачів, які швидко користуються попитом на комерційному ринку є також наноглини, такі як монтморилоніт і гідротальцит, різноманітні оксиди та нановолокна, такі як одно- або багатостінні вуглецеві нанотрубки.

Карбонат кальцію (крейда) знаходить широке застосування в якості наповнювача полімерних композиційних матеріалів завдяки ряду цінних властивостей [97, 98] з яких необхідно відзначити наступні: висока хімічна чистота, яка виключає будь-який несприятливий каталітичний вплив на процеси старіння в полімерах; - висока ступінь білизни; низький показник заломлення, що дозволяє отримувати вироби білого кольору; - низька абразивна здатність, яка підвищує зносостійкість покриття; - здатність рівномірно розподілятися в полімерній системі; У системах порошкового покриття карбонат кальцію застосовується у глянцеких та напівглянцеких системах [99].

Авторами [100] також досліджено, що у випадках, коли кальцит доступний у формі стеарату кальцію, який отримується шляхом його осадження стеариноювою кислотою, що створює на кожній частині єдину молекулярну плівку, це сприяє підвищенню ефективності диспергування системи, запобігаючи агломерації дрібно подрібнених зерен кальциту та збільшенню міцності кінцевого покриття. Окрім цього, стеаринова кислота робить наповнювач гідрофобним, що сприяє отриманню покриття підвищеної вологостійкості.

Авторами [101] виконано дослідження в яких стверджується, що поліефірні нанокompозити з карбонатом кальцію (у кількості 3 %) підвищують ударостійкість, міцність на згин та корозійну стійкість порошкових систем, за рахунок ущільненій структури порошкового покриття.

Однак полярність і висока реакційна здатність карбонату кальцію обумовлює ряд його недоліків: виділення діоксиду вуглецю і утворення розчинних солей при дії кислот; підвищення крихкості систем покриттів при його наповненні; висолоутворення на поверхні покриття під дією ультрафіолетових променів та вологості, що унеможливує його використання для захисту зовнішніх систем.

Сульфат барію, який використовується в якості наповнювача для порошкових фарб доступний у вигляді баритів, його природна форма, або Blanc Fixe, який є синтетично осадженим. Сульфат барію доступний у вигляді дрібно подрібненого білого порошку розміром 3...10 мкм та має чистоту близько 96 %, що сприяє його високій дисперсності в порошковій системі [102]. Для отримання темних кольорів порошкового покриття, можливе також використання сульфату барію низької чистоти у вигляді світло-коричневого або рожевого кольору. В загальному, сульфат барію є інертним, не розчиняється і стійкий до впливу світла і тепла, а також сприяє підвищенню механічних характеристик покриттів.

Blanc Fixe - мікронізований абсолютно інертний порошок з розміром частинок 0,5...1 мкм, який отримують в результаті реакції карбонату барію з сірчаною кислотою або розчинів сульфатних солей, має чистоту близько 98 % та характеризується високою стійкістю до впливу навколишнього середовища і хімічних речовин [103]. При цьому показник його заломлення (1,64) вище, ніж у інших наповнювачів, що надає йому пігментні властивості та сприяє частковій заміні білого пігменту в порошкових покриттях. Однак, Blanc Fixe характеризується більш високою питомою вагою ($\rho = 4,5 \text{ г/см}^3$) порівняно з іншими наповнювачами, що зумовлює підвищення густини порошкових фарб, та відповідно, збільшує їх витрату на 1 м^2 . Крім цього, технологія його отримання

призводить до збільшення показника маслоємності, що негативно може впливати на якість покриття.

З метою зменшення усадки, підвищення в'язкості і водостійкості, а також покращення зовнішнього вигляду виробів в складі порошкових лакофарбових систем вводять скляні, карбонові, борні та органічні волокна [104]. Слід зазначити, що підвищити фізико-механічні та експлуатаційні властивості лакофарбових матеріалів, зокрема адгезію, твердість, ударну міцність, можна також шляхом додаткового введенням дрібнодисперсних наповнювачів у вигляді наночастинок різноманітних оксидів, наприклад, кремнію і алюмінію. Так, в дослідженнях [105] показано, що введення нанорозмірних наповнювачів у вигляді SiO_2 (з питомою поверхнею $\geq 100 \text{ м}^2/\text{г}$) до складу порошкових систем сприяє підвищенню механічних властивостей покриття, за рахунок утворення міцних міжфазних зв'язків між наповнювачем та полімерною матрицею. Крім цього високодисперсний або колоїдний оксид алюмінію, також підвищує механічні властивості покриття та є ефективним агентом проти злежування порошкової фарби, що забезпечує її високу сипучість при зберіганні та використанні [106].

Згідно досліджень [107] гідрофобні наночастинок SiO_2 з силіконовим покриттям, сприяють підвищенню стійкості до ниткоподібної корозії порошкових лакофарбових систем.

Слід відмітити, що найбільш суттєвий вплив на формування властивостей лакофарбових покриттів мають фізичні і хімічні особливості поверхні мінеральних наповнювачів, зокрема, висока поверхнева енергія і реакційна здатність функціональних груп наповнювачів, що обумовлюють здатність до адсорбції і хемосорбції, тобто до утворення хімічних зв'язків між своєю поверхнею і молекулами полімерної матриці [108]. Такі групи характерні для наповнювачів, на поверхні кристалічних оксидів яких є групи ОН, які мають підвищену адсорбційну і каталітичну активність та можуть відрізнитися за своєю поведінкою і хімічною активністю [109].

Тому однією з найбільш перспективних груп наповнювачів, що можуть використовуватись для наповнення порошкових лакофарбових систем є гідроксиди та силікати [110]. До них належать гідроксид алюмінію, силікати: магнею (тальк), алюмінію (каолін), алюмінію – калію (слюда), кальцію (воластоніт), і інші. Вони ефективно поєднують в собі переваги морфології, розміру часток, поверхневої активності, заряду часток, можливості реакційної здатності функціональних груп [111]. Найхарактернішою рисою таких наповнювачів є наявність гідроксильних груп, поведінка й хімічна активність яких може суттєво відрізнятись, а кількість може бути досить значною [112]. Гідроксильні групи можуть відігравати визначальну роль під час взаємодії наповнювачів з термореактивними олігомерами, що сприяє підвищенню експлуатаційних властивостей покриттів, в тому числі захисту від корозії [113].

Авторами [114] виявлено, що введення розмеленого кристалізованого гідроксиду алюмінію (середній розмір частинок 10 мкм) до складу епоксидних порошкових системи підвищує стійкість покриття до миючих засобів, а також ефективно знижує блиск порошкових покриттів на відміну від інших наповнювачів. Крім того, введення гідроксиду алюмінію сприяє зниженню чутливості поліефірних порошкових покриттів, затверднених з використанням НАА, до утворення голчастих отворів, оскільки він діє як дегазуючий агент. Наступна перевага гідроксиду алюмінію полягає в тому, що він збільшує T_g порошку на основі поліефірного плівкоутворювача / НАА і, як наслідок, підвищує стабільність системи при зберіганні. З аналізу застосування воластоніта [115] відзначається, що одними з основних властивостей цього мінералу, як наповнювача в порошкових лакофарбових матеріалів є надання покриттям стійкості до корозії, поверхневої зносостійкості, здатності до збереження кольору при атмосферних впливах. Автор статті [116] після порівняння воластоніта з іншими видами функціональних наповнювачів в лакофарбових матеріалах відзначає наступні його унікальні властивості: високу яскравість, що забезпечує більш чисті відтінки покриття; порівняно високу твердість, що забезпечує стійкість до абразивного зносу; помірну маслоємність,

яка підходить для рецептур з високою об'ємною концентрацією пігментів; підвищенню міцності на згин покриття.

Авторами [117] виявлено, що введення монтморилонітової глини у кількості від 2 до 4 % до складу епоксидних порошкових систем сприяє підвищенню термостійкості, бар'єрних властивостей та адгезії до металевих підкладок. Використання наповнювача в якості слюди сприяє підвищенню механічних і електрофізичних властивостей полімерних композитів, а саме: зносостійкість, міцність на згин, поверхневий питомий опір та питомий об'ємний опір [118].

У загальному випадку використання наповнювачів в складі систем лакофарбового покриття сприяє підвищенню фізико-механічних і експлуатаційних властивостей матеріалу залежно від виду, морфології, розміру частинок та поверхневої активності наповнювача. Слід також зазначити, що наповнювачі для вітчизняного виготовлення порошкової фарби імпортуються переважно з-за кордону. Тому з практичної та наукової точки зору було б доцільно розглянути ефективність використання наповнювачів Українського виробництва в складі порошкової фарби при виконанні відповідних досліджень щодо взаємодії з полімерною матрицею. При цьому Україна має в наявності великі поклади оксидів, гідроксидів, силікатів та підприємства по виробництву наповнювачів на їх основі, що створює перспективність застосування цих матеріалів для порошкових лакофарбових матеріалів [119].

1.4. Роль хімічних добавок у формуванні властивостей порошкових лакофарбових матеріалів.

У процесі отримання і застосування порошкових лакофарбових матеріалів важливу роль відіграють міжфазні явища – змочування, розтікання, адгезія. Як відомо, введення наповнювачів в полімерні композиції нерідко ускладнено через недостатнє змочування частинок наповнювача плівкоутворюючою речовиною [120]. Тому низька змочувальна здатність порошкової композиції може призвести до погіршення умов формування адгезійного контакту системи із металевою поверхнею [121]. Перспективним способом спрямованого регулювання адгезійно-міцнісних характеристик порошкових лакофарбових систем, є модифікування полімерної матриці малими домішками поверхнево-активних речовин [122]. При цьому автором [123] показано, що “ідеальна” добавка для порошкових фарб та покриттів на їх основі повинна відповідати наступним вимогам: бути у вигляді твердого, дрібного порошку з кристалічною температурою плавлення $T_g > 50$ °С; хімічно не реагувати із плівкоутворюючою речовиною та зшиваючим агентом; 100 % активна; ефективна при низькому рівні дозування.

Тому сучасний підхід до отримання порошкових лакофарбових матеріалів передбачає покращення їх властивостей за рахунок використання комплексних модифікаторів, які сприяють отриманню високих фізико-механічних та експлуатаційних властивостей покриття.

Хімічні добавки, що вводяться в порошкову лакофарбову систему впливають на такі основні властивості покриття, як розтікання, адгезія, дегазація, міцність, стійкість до впливу різних агресивних речовин.

Розтікання термореактивних порошкових матеріалів регулюється двома основними параметрами, а саме поверхневим натягом та в'язкістю розплаву [124]. Поверхневий натяг є основною рушійною силою (при заданій температурі), що викликає розтікання покриття. Єдиним опором до розтікання є в'язкість розплавленого покриття в умовах його затвердіння. Отже, добавки, що

регулюють розтікання порошкового покриття можна більш точно визначити як «модифікатори поверхневого натягу», які переважно діють, впливаючи на властивості поверхні розділу фаз, згладжуючи (або вирівнюючи) локальні відмінності в поверхневому натягу плівки. Крім того, модифікатори поверхневого натягу можуть як знижувати в'язкість плівкоутворюючого компоненту, так і значно підвищувати її [125]. Тому добавки-модифікатори поверхневого натягу поділяються на дві основні групи: агенти розтікання; агенти загусники.

Для оптимального розтікання порошкових покриттів є дві основні передумови: високий поверхневий натяг, який повинен бути меншим за поверхневий натяг основи, щоб забезпечити належне змочування основи; поверхневий натяг повинен виявляти локальну однорідність на межі розділу з повітрям.

Автором [126] було представлено результати порівняльного дослідження агентів розтікання різної хімічної структури та молекулярної маси за допомогою лазерно-оптичних вимірювань «хвильового сканування» (яке включає в себе лазер, що сканує поверхню і визначає малюнок світлих і темних областей). Виявлено, що найбільший показник розтікання порошкового покриття забезпечують поверхнево активні речовини (ПАР) на основі гомополімерних або кополімерних акрилатів.

Фторвуглеводи [127] також можуть використовуватись як добавки для регулювання розтікання покриття. Вони не широко використовуються через надзвичайно високу їх вартість та вміст розчинників, а також вони не доступні у вигляді порошкової суміші. Проте переваги фторвуглеводнів полягають у тому, що вони є єдиною ефективною добавкою для розтікання покриття на забрудненій (масло, іржа) поверхні металу. При цьому, ефективність впливу ПАР на розтікання і вирівнюючі властивості порошкових покриттів залежить і від типу плівкоутворювача в порошкових системах. Так, використання добавок фторвуглеводнів в складі поліефірних порошкових систем має абсолютно

протилежний ефект порівняно із епоксидними системами, сприяючи зниженню розтікання покриття.

В загальному, введення агентів розтікання сприяє формуванню однорідної, впорядкованої структури і прискоренню релаксаційних процесів полімеру, у зв'язку з чим, відбувається зменшення внутрішніх напружень при одночасному зниженні дефектності покриття, що сприяє підвищенню фізико-механічних властивостей наповнених покриттів [128].

Полімерні добавки загусники, які сприяють зменшенню розтікання покриття шляхом зростання поверхневого натягу та в'язкості порошкових систем, використовуються для ефективного покривання країв виробу або формування текстурованих порошкових покриттів. Прикладами є добавки сополімерів СМА (стирол-малеїнового ангідриду) [129] з діапазоном плавлення від 55 до 150 ° С, які сприяють зниженню розтікання покриття із отриманням дрібних або грубих структур в епоксидних та гібридних системах, не погіршуючи при цьому механічні властивості покриття.

В дослідженнях [130] виявлено, що найпростішим способом зменшення розтікання покриття є додаткове використання мінеральних наповнювачів з високим ступенем абсорбції масла, такі як тальки або глини. Однак, отримане покриття характеризується низькими механічними характеристиками.

Добавки на основі політерафторетилену ПТФЕ з різним розміром частинок також можуть сприяти зниженню розтікання покриття з утворенням різного ступеню структури [131]. Зазвичай, дані добавки поставляються у вигляді дрібнодисперсних порошоків з розміром частинок від 10 до 15 мкм і є ефективними при їх введенні у кількості від 2 до 3 %.

Автори [132, 133] припустили, що хороший баланс між двома протилежними впливами поверхневого натягу може бути отриманий за рахунок комбінації двох різних типів вищевказаних добавок: одна знижує, а інша збільшує поверхневий натяг покриття, що сприяє можливості в регулюванні структури полімерної матриці.

Хімічні добавки у вигляді агентів дегазації використовуються переважно для усунення розсіювання бульбашок газу (повітря), яке розміщується між частками порошку під час плавлення плівки, що може викликати отримання пористої, неоднорідної плівки покриття. На цьому етапі в'язкість повинна залишатися низькою якомога довше, перш ніж плівкоутворення завершиться.

Найбільш широко використовуваною хімічною речовиною цієї групи є бензоїн, який функціонує як “твердий розчинник”, щоб утримувати плівку відкритою досить довго для того, щоб повітря мало можливість виходити з плівки під час її затвердіння. Крім цього у покриттях на основі епоксидної системи бензоїн сприяє зменшенню в'язкості розплаву та поверхневого натягу. Однак, використання бензоїну викликає пожовтіння покриття білого та світлих кольорів через його перетворення у сильно забарвлений бензил під час твердіння системи. Як вихідна точка для всіх кольорів рекомендується використовувати 0,2 % бензоїну, за мас.

Авторами [134] виявлено, що альтернативою бензоїну може бути стеаринова кислота, яка є ефективним дегазатором та частково вирівнюючим агентом в порошкових покриттях Проте, її використання призводить до зниження температури склування (T_g), що може вплинути на зниження стабільності зберігання порошкової фарби.

Існує також ряд альтернатив бензоїну у вигляді різних типів поліетиленового та поліпропіленового воску [135], які не призводять до пожовтіння та сприяють зниженню дегазаційних властивостей в плівці покриття, що підвищують механічні властивості плівки покриття, сприяють зменшенню фізичних пошкоджень порошкових лакофарбових матеріалів під час їх експлуатації. Найпоширенішими типами добавок, є поліетиленові воски (ПЕ), модифіковані поліпропіленові воски, комбінації політетрафторетилену (ПТФЕ) та поліетиленових порошоків (також звані «поліфтори») або спеціальні силікони [136]. Добавки на основі ПЕ з більш низькою щільністю є жорсткішими і забезпечують кращу стійкість до подряпин, ніж воски ПЕ високої щільності. Проте ПЕ високої щільності демонструють вищі властивості ковзання покриття.

Більше того, вони дозволяють утримувати блиск і можуть підвищити стійкість покриття до хімічних впливів.

Поліфлюори (суміші воску з ПТФЕ та ПЕ) можуть використовуватись як допоміжні засоби проти ковзання, а також як поліпшувачі стійкості до пошкодження залежно від типу поліетилену [137]. Чим м'якше ПЕ-віск, тим менше початкове ковзання і кращий опір до подряпин. Чим твердіший ПЕ віск у цій комбінації, тим більше початкове ковзання, але менший коефіцієнт тертя, що означає менший опір до подряпин.

Воски Фішера-Тропша, які є насиченими вуглеводнями з прямим ланцюгом та отримані під час гідрування монооксиду вуглецю, також сприяють підвищенню ковзання покриття та надають кращу змащуваність, ніж воски на основі поліетилену, і є ефективнішими для стійкості до подряпин гострими предметами [138].

Слід зазначати, що вищевказані добавки, які підвищують механічні властивості плівки покриття, є агенти які не розчиняються або несумісні з плівкоутворюючою речовиною, що спричинює їх міграцію на поверхню плівки під час затвердіння покриття, утворюючи суцільний або інколи розривний шар [139].

Авторами [140] також було запропоновано введення ПАР із суміші поліетилену та наночастинок у вигляді SiO_2 та CaCO_3 у кількості 5 %, для підвищення твердості, ударної міцності, гнучкості, адгезії, стирання та термостійкості УФ-порошкового покриття. Компанією «Tigerwerke» запропоновано використання 3 % суміші корунду та поліетилену в епоксидних порошкових покриттях, що сприяє підвищенню стійкості до стирання з 150 до 200 циклів [141]. Стійкість до стирання покриття може підвищуватись за рахунок включення до складу порошкової системи твердих наночастинок у вигляді Al_2O_3 [142].

Отже, очевидно, що використання хімічних добавок в складі порошкових лакофарбових матеріалів здійснює істотний вплив на технологічні властивості порошкових фарб та процеси структуроутворення покриттів на їх основі, що в

свою чергу визначає можливість управління фізико-механічними та експлуатаційними властивостями матеріалу залежно від природи основної діючої речовини модифікуючої добавки.

Одним з поширених методів підвищення захисту металів від корозії є застосування в складі порошкових лакофарбових матеріалів інгібіторів корозії у вигляді «антикорозійних пігментів», які сприяють зниженню інтенсивності корозійного процесу на межі розділу «покриття - металева поверхня», за рахунок зменшення дифузії корозійних агентів з навколишнього середовища [143].

Здатність пігментів гальмувати корозійний процес на межі метал - покриття обумовлено гальмуванням анодного, катодного або одночасно обох процесів електрохімічної корозії [144]. Гальмування корозійного процесу досягається за рахунок або збільшення поляризації електродних процесів, або утворенням пасивних плівок фазового або адсорбційного характеру. В останньому випадку утворюється плівка, яка зменшує енергію Гіббса системи метал - покриття та ускладнює іонізацію металу, тобто перехід атомів з кристалічної решітки в розчин електроліту.

В лакофарбових матеріалах як антикорозійні пігменти широко застосовуються хромати [145]. Протикорозійну дію хроматів обумовлено їх розчиненням у воді в процесі експлуатації покриття, що супроводжується утворенням комплексних хромат-іонів, які на анодних ділянках взаємодіють з іонами металу, що призводить до утворення інгібіторів корозії. Однак їх використання до недавнього часу обмежується через їх канцерогенної дії. Тому вкрай актуальною є задача заміни хроматних пігментів менш токсичними сполуками, які не поступаються їм за протикорозійною стійкістю [146].

В якості замінників хроматів великий інтерес представляють інгібітори на основі солей церію [147]. Вважається, що вони сприяють регулюванню катодної реакції шляхом осадження гідроксиду церію ($\text{Ce}(\text{OH})_3$) в локальних областях з високим рН. Однак, незважаючи на перспективність даного типу інгібіторів, висока вартість солей церію обмежує їх широке застосування.

Авторами [148] представлені композиції покриттів, до складу яких входили антикорозійні пігменти у вигляді: карбіду вольфраму, титанату кальцію, оксидів різних металів (цинку, хрому, нікелю), фосфатів цинку і нікелю. Встановлено, що отримані пігменти є катодними інгібіторами корозії і в 2-3 рази знижують щільність струму корозії, а також мають захисний ефект від 37 до 85 %.

В останні роки широкого поширення одержали фосфатні пігменти, механізм дії яких заснований на утворенні міцно зв'язаних з поверхнею металу комплексних інгібіторів корозії, причому, до складу комплексів можуть входити і сполуки плівкоутворювача, що сприяє підвищенню адгезійної міцності покриттів [149].

Фосфат цинку - один з небагатьох нетоксичних пігментів, який може застосовуватися самостійно і замінювати хромовміщуючі пігменти або свинцеві. Має пластинчасту форму частинок і є інгібітором корозії з електрохімічною захисною дією, одночасно забезпечуючи бар'єрний ефект [150]. Загальний недолік фосфатних пігментів, використовуваних в рідких антикорозійних лакофарбових матеріалах, - низька ефективність на початкових стадіях розвитку корозійного процесу, що може знижувати ефективність їх застосування [151].

В загальному, протикорозійна дія тих чи інших пігментів в залежності від їх складу обумовлено різними механізмами. Це може бути утворення оксидних плівок, зміщення потенціалу поверхні металу в область катодного захисту, зміщення рН в лужну область, створення бар'єру для агресивних газів і води, нейтралізація агресивних агентів і т.д. Тому з огляду на різноманіття їх хімічного складу та механізмів протикорозійного дії, дослідження ефективності впливу антикорозійних пігментів різної природи основної діючої речовини на стійкість порошкового лакофарбового матеріалу до впливу агресивних речовин є актуальним.

Узагальнюючи вищевказане, можна зробити висновок про те що, модифікування порошкових лакофарбових систем шляхом введення хімічних

добавок, в загальному, сприяє отриманню матеріалу з покращеними технологічними, фізико-механічними і експлуатаційними властивостями. Основним відкритим питанням є вивчення закономірностей впливу хімічних добавок на формування властивостей декоративно-захисних порошкових систем залежно від різної природи основної діючої речовини та механізму дії модифікатора.

1.5. Наукові основи процесів структуроутворення захисного покриття на основі порошкових лакофарбових матеріалів та наукова гіпотеза

Як свідчить аналіз інформації, наведеної в п.п. 1.1-1.4, порошкові лакофарбові матеріали – продукти які є одними з найбільш перспективних для можливості створення ефективного техніко-економічного та екологічного захисного покриття із заданими властивостями для широкого асортименту будівельних металевих виробів і конструкцій. Отримання заданих властивостей порошкового покриття при забезпеченні високої довговічності матеріалу залежать від багатьох факторів, таких як хімічна структура та щільність зшивання зв'язувальної речовини, типу зшиваючого агента, хімічної природи наповнювача та функціональних добавок, в яких кожен з компонентів бере участь в процесі структуроутворення та вносить суттєвий вклад в технологічні та експлуатаційні властивості матеріалу. Так, зв'язувальна речовина є основою отримання покриття, що здатна з'єднувати в одне ціле компоненти системи та визначає основні властивості матеріалу, залежно від хімічної структури, функціональності, в'язкості розплаву, температури склування та реакційної здатності. При цьому для кожного типу зв'язувальної речовини у вигляді плівкоутворювача використовуються різні зшиваючі агенти, завдяки яким утворюється необоротно зшита полімерна мережа різної структури. Наповнювач сприяє зниженню вартості та регулюванню фізико-механічних і експлуатаційних властивостей матеріалу із врахуванням хімічної природи, морфології, розміру

частинок та поверхневої активності наповнювача щодо взаємодії з полімерною матрицею. Хімічні добавки різних функціональних груп, такі як агенти розтікання для можливості регулювання в'язкості в розплавленій фазі та покращення обробки поверхні, дегазатори для регулювання виділення летких сполук під час затвердіння (наприклад, води), воски для підвищення фізико-механічних властивостей матеріалу і т.д. Відкритими залишається питання в регулюванні властивостей та корозійної стійкості порошкових лакофарбових матеріалів залежно від плівкоутворюючого компоненту та його характеристик, зшиваючого агента, виду і витрати наповнювача в системі; впливу хімічних добавок різного виду та механізму дії.

Тому поглиблення досліджень порошкових лакофарбових матеріалів в напрямку визначення особливостей структуроутворення при розширенні сировинної бази таких матеріалів, в тому числі, за рахунок наповнювачів та хімічних добавок різної природи основної діючої речовини, може сприяти отриманню декоративно-захисних покриттів для металевих виробів та конструкцій зі спеціальними, в тому числі заданими властивостями. Така концепція розглядалась як **наукова гіпотеза** при постановці досліджень дисертаційної роботи.

РОЗДІЛ 2

ХАРАКТЕРИСТИКА СИРОВИННИХ МАТЕРІАЛІВ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Сировинні матеріали

При виконанні досліджень для отримання чотирьох різних порошкових лакофарбових систем в якості плівкоутворюючих речовин використано термотрвердіючі олігомери у вигляді епоксидних, насичених карбоксильних поліефірних і гібридних смол, а саме :

- карбоксильних-термінових поліефірних смол Crylcoat 2441-3Т, Crylcoat E04484 виробництва «Allnex», EP-2105 виробництва «KHUA» для отримання поліефірних систем з використанням зшиваючого агенту **TGIC**;
- Карбоксильних поліефірних смол Crylcoat 2618-3Т виробництва «Allnex», GP 95518/Т виробництва «Ciech», EP-3126Т виробництва «KHUA», Alymers PC2812Т виробництва «Inopol» для отримання поліефірних систем з використанням зшиваючого агенту **НАА**;
- Карбоксильних функціональних поліефірних смол Crylcoat 1771-3Т виробництва «Allnex», GS 7371/Т виробництва «Ciech» для отримання гібридних систем.
- Епоксидних смол Epidian 033А виробництва «Ciech», D.E.R. 663 EU виробництва «Dow», CHS 130 виробництва «Splochemie» для отримання епоксидних та гібридних систем.

Основні характеристики плівкоутворювачів у вигляді непрозорих гранул наведені в табл. 2.1. Структурні формули використаних в'язучих представлені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.1

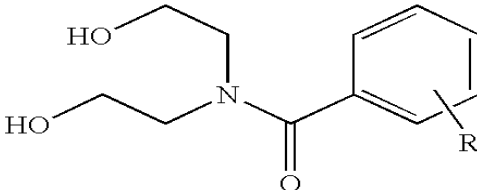
Характеристика плівкоутворюючих речовин.

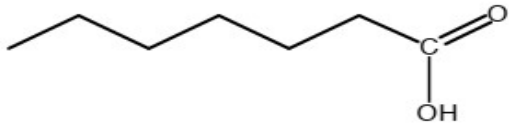

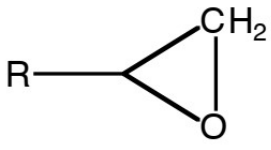
Тип смоли	Показники				
	Температура склування (°С)	В'язкість по Брукфільду 200°С, мПа-с	β показник	Число кислотності (мг КОН/г)	Температура та час полімеризації
Поліефірні плівкоутворювачі на зшиваючому агенті TGIC					

<i>Продовження таблиці 2.1</i>					
Crylcoat 2441-3T	67	4200	15	34	200С 10хв
Crylcoat E04484	65	5500	10	37	200С 10хв
EP-2105	68	4500	12	30	200С 10хв
Поліефірні плівкоутворювачі на зшиваючому агенті НАА					
GP 9518/T	61	3200	13	35	180С 10хв
Crylcoat 2618-3	61	3400	10	35	180С 10хв
EP-3126	61	3000	12	28	180С 10хв
PC2812T	58	3100	11	31	180С 10хв
Поліефірні плівкоутворювачі для гібридних систем 70/30					
Crylcoat 1771-3	56	4500	15	35	180С 10хв
GS 7371/T	57	5500	16	32	180С 10хв
Епоксидні плівкоутворювачі					
CHS 130	-	800	32	10	200С 10хв
Epidian-033A	-	1200	31	13	180С 10хв
D.E.R. 663UE	-	900	30	11	180С 10хв

Таблиця 2.2

Структурні формули використаних плівкоутворювачів.

Тип плівкоутворювача	Формула
Карбоксильна-термінова поліефірна смола	

Карбоксильна поліефірна смола	
<i>Продовження таблиці 2.2</i>	
Карбоксильна функціональна поліефірна смола	
Епоксидна смола	

В якості зшиваючих агентів для карбоксилівмісних поліефірних смол використано TGIC та HAA.

Зшиваючий агент «TGIC» виробництва «Huangsham» являє собою лінійний карбоксильний поліефір який отримується шляхом синтезу при нагріванні цианурової кислоти у великому надлишку епіхлоргідрину в присутності галогеніду амонію або фосфонію в якості каталізатора. В поєднанні з поліефірним плівкоутворювачем отримують оптично однорідні порошкові композиції з в'язкістю 2500-7500 мПа·с при 200°C. Кількість зшиваючого агенту TGIC в складі стандартної порошкової системи може становити від 3 до 7%. Режим затвердіння системи становить 10 хвилин при температурі виробу 200°C.

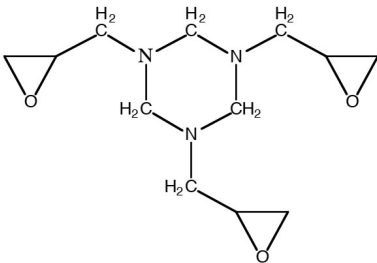
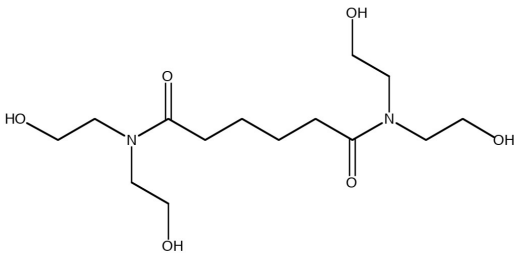
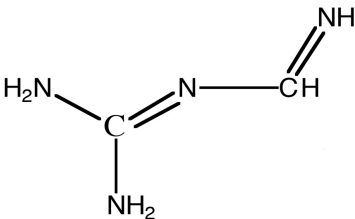
Зшиваючий агент «HAA» виробництва «EMS Chemical», являє собою тетрафункціональний β-гідроксиалкіламід який отримується в результаті реакції фумарової кислоти з алкоксильованим бісфенолом А, який зшитий бісамідною сполукою. При поєднанні зшиваючого агенту (HAA з поліефірною смолою отримують оптично однорідні порошкові композиції з технологічно прийнятною в'язкістю 2000-8500 мПа·с при 200°C. Кількість зшиваючого агенту в складі стандартної порошкової системи може становити від 3 до 7%. Режим затвердіння системи становить 10 хвилин при температурі виробу 180°C.

В якості зшиваючого агенту для епоксидних смол використано DICU виробництва «ALzChem», що являє собою аліфатичний твердий амін. DICU має досить високу температуру плавлення - 210°C і під час екструзії порошкової системи він не плавиться, що сприяє отриманню молекулярно однорідної суміші з епоксидною смолою. Оптимальна концентрація DICU становить 4...6% залежно від виду пігментів та наповнювачів. Режим затвердіння системи становить 10 хв при температурі 200°C.

Структурні формули використаних зшиваючих агентів представлені в таблиці 2.3. Основні характеристики зшиваючих агентів наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.3

Структурні формули використаних зшиваючих агентів

Тип зшиваючого агенту, виробник	Формула
TGIC	
НАА	
DICU	

Таблиця 2.4

Характеристики зшиваючих агентів.

Характеристики	Тип зшиваючого агенту.
----------------	------------------------

	TGIC	НАА	DICY
Зовнішній вигляд	Білі гранули		
Епоксидний еквівалент, г/мол	110	-	-
Гідроксильний еквівалент, г/мол	-	82±2	-
<i>Продовження таблиці 2.4</i>			
Температура плавлення, °С	95-125	120-130	210
Вологість, %	0,5	1	0.3
Вміст хлору, %	0.6	-	-
В'язкість, мПа·с	100	-	-
Чистота, %	-	-	99.5
Вміст кальцію, ppm	-	-	200

В якості наповнювачів, які поділено відповідно до хімічної групи (див. розділ 1.3) використано:

Солі: синтетичний сульфат барію BaSO_4 компанії «Changsha Lianda Chemical», крейда CaCO_3 виробництва ПрАТ «Сумиагропромбуд»;

Оксиди: мікрокремнезем SiO_2 №1 виробництва ТОВ «Теравіон», мікрокремнезем SiO_2 №2 виробництва ТОВ «Гірська Інжинірингова Компанія», оксид цинку ZnO виробництва компанії ПрАТ «ЦИНК»;

Гідроксиди: гідроксид алюмінію Al(OH)_3 виробництва «SCR-Sibelco N.V.»

Силікати: метакаолін $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ виробництва «ІПАТ Глуховецький ГЗКК», воластоніт CaSiO_3 виробництва «Minco LTD», тальк $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ виробництва ЗАТ «Геоком»;

Характеристика наповнювачів наведено в табл. 2.5. Гранулометричний склад наповнювачів наведений на рис. 2.1

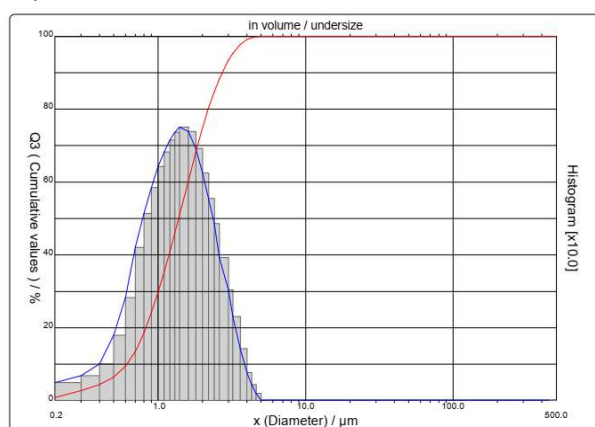
Таблиця 2.5

Характеристики наповнювачів.

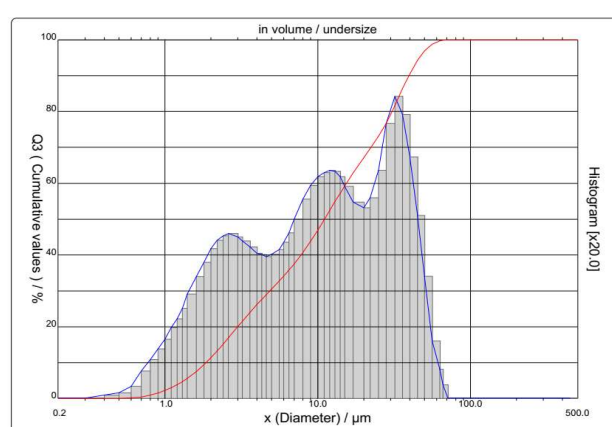
Наповнювач	Характеристика					
	Зовнішній вигляд	pH число	Маслоємність, гр./100гр.	Вологість, %	Середній розмір частинок, мкм	Кристалічна форма наповнювача
BaSO_4	Білий порошок	7,86	16,1	0,074	1,87	кубічна

$\text{Al}(\text{OH})_3$	Сірий порошок	6,7	19,4	0,042	16,43	сферична
SiO_2 №1	Сірий порошок	6,9	27,3	0,15	2,92	сферична
SiO_2 №2	Сірий порошок	6,8	25,1	0,12	15,2	сферична
<i>Продовження таблиці 2.5</i>						
CaSiO_3	Білий порошок	8,2	38,4	0,1	14,02	волокниста
CaCO_3	Білий порошок	8,6	17,2	0,21	5,47	кубічна
ZnO	Білий порошок	8,4	31,2	0,062	2,32	кубічна
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	Білий порошок	7,1	32,1	0,01	13,2	пластинчаста
$\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	Білий порошок	8	36	0,3	18,35	волокниста

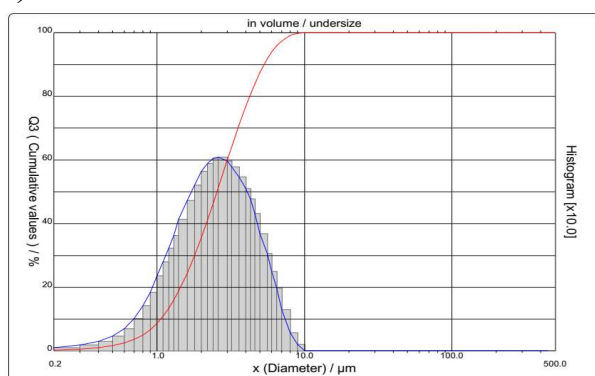
а)



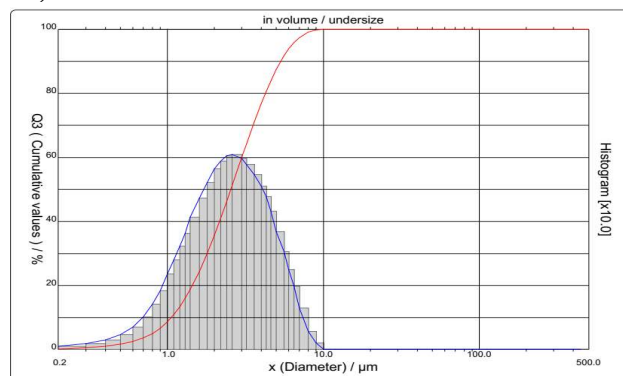
б)



в)



г)



д)

е)

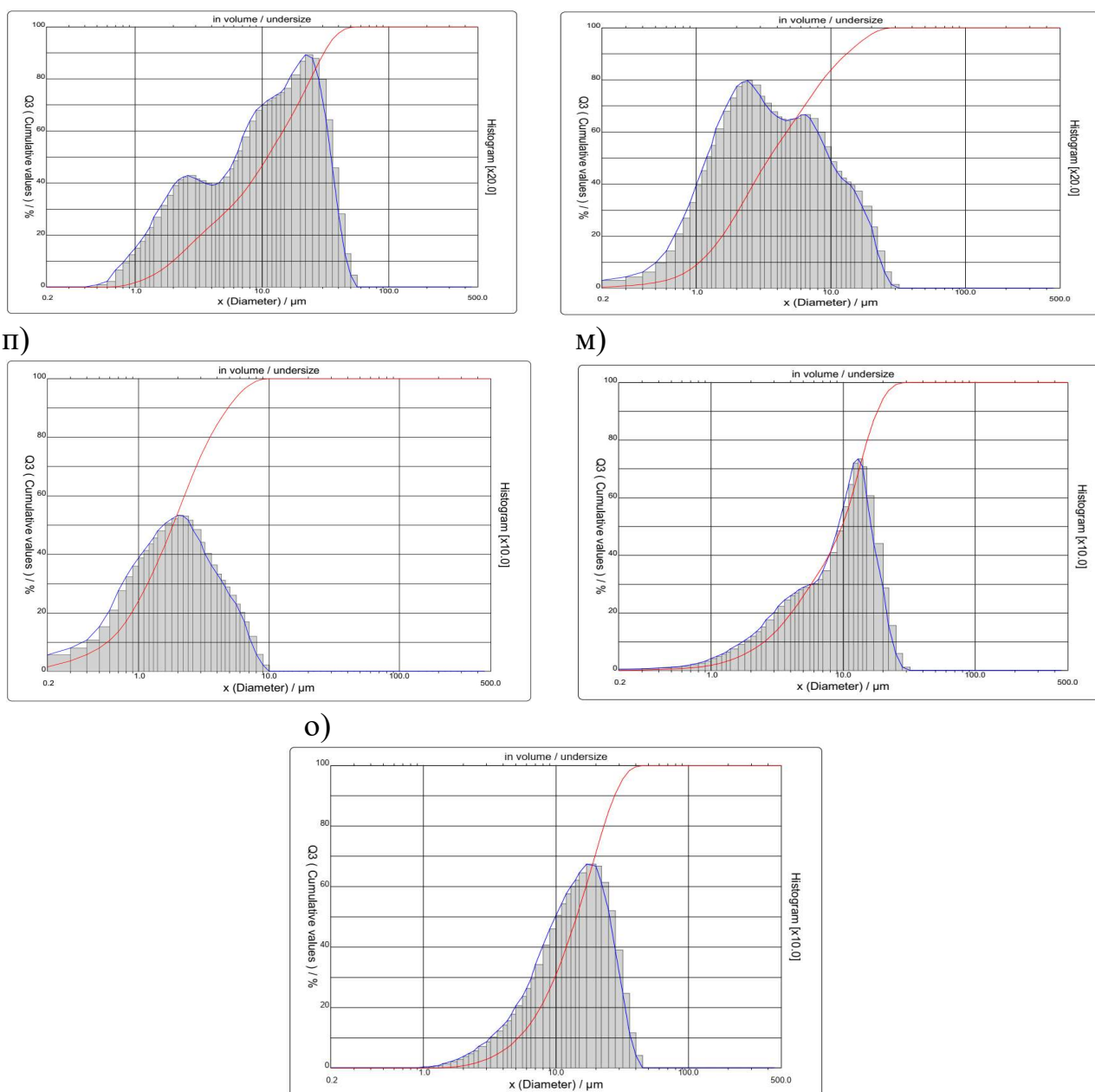


Рис. 2.1 Графіки гранулометричного складу наповнювачів: а) Сульфат барію; б) Гідроксид Алюмінію; в) Мікрокремнезем №1; г) Мікрокремнезем №2; д) Воластоніт; е) Крейда; п) ZnO; м) Метакаолін; о) Тальк.

Для отримання певного кольору та номінальної вкривистості поверхні металевих зразків в склад порошкових лакофарбових матеріалів вводяться пігменти які можуть займати до 25% від загальної маси системи в залежності від кольору та покривних характеристик які висувають до системи. Одним з найбільш розповсюджених пігментів який впливає на покривну здатність системи є діоксид титану TiO_2 . В роботі використаний TiO рутильної форми

виробництва компанії “Kronos” марки K-2190. Характеристики рутилу наведені в таблиці 2.6

Таблиця 2.6

Характеристики TiO₂.

Вміст TiO ₂ , %	≥94
Густина, г/см ³	4.1
Адсорбція масла, г/100г пігменту	18

Для отримання заданих властивостей покриття таких як: розтікання, адгезія, дегазація, міцність, стійкість до впливу різних агресивних речовин, в склад системи вводять модифікатори які в залежності від природи основної діючої речовини можуть змінювати задані характеристики системи.

Для визначення впливу хімічної природи основної діючої речовини модифікуючих добавок на формування властивостей порошкових лакофарбових матеріалів використано добавки з різним функціональним призначенням.

Для дослідження реологічних характеристик в якості модифікаторів поверхневого натягу використано добавки у вигляді речовин чотирьох типів:

I - поліакрилат адсорбований на діоксиді кремнію у вигляді виробництва «Вук Germany»;

II - поліоксіетиленовий похідний касторової олії виробництва «Lehmann & Voss & Co Germany»;

III - модифікована бентонітова глина виробництва «Lehmann & Voss & Co Germany» ;

IV - гідрофільний діоксид кремнію виробництва «Cabot».

Основні характеристики реологічних добавок наведені в таблиці 2.7

Таблиця 2.7

Характеристики реологічних добавок.

Характеристика	Тип реологічної добавки			
	I	II	III	IV
Густина г/см ³ .	1,28	1,2	1,7	2,2

Вміст акрилату, %	63%	-	-	-
Вологість, %	1	1	3	1
Оксидне число, мг· КОН/г	-	5	-	-
Число кислотності, рН	-	-	-	4

Для дослідження дегазуючих характеристик порошкового покриття використано добавки різної природи:

I – модифікований гідроксікетон виробництва «Tech-Power Huangshan Ltd»;

II – модифікований поліетилен виробництва «Вук Germany»;

III – мікронізований етилен-біс-стеарамід виробництва «Munzing»;

IV – кисневмісне високомолекулярне кремнієве з'єднання виробництва «Lubrizol».

Основні характеристики добавок дегазаторів наведені в таблиці 2.8

Таблиця 2.8

Характеристики добавок дегазаторів.

Характеристика	Тип дегазуючої добавки			
	I	II	III	IV
Температура плавлення, °С	130	140	143	140
Густина г/см ³ .	1,31	1	1	1,1
Середній розмір, D50 мкм	42	9	6	7,5

Для модифікації поверхні порошкового покриття було використано синтетичні мікронізовані воски різної природи основної діючої речовини у вигляді:

I - Гідрокарбоновий віск Shamrock S-379H «Shamrock».

II - Синтетичний віск Synfluo 172VF «Micro Powder».

III - Поліетиленово-амідний віск Ceridust 9615A «Clariant AG».

Основні характеристики мікронізованих восків наведені в таблиці 2.9

Таблиця 2.9

Характеристики мікронізованих восків.

Характеристика	Тип мікронізованого воску		
	I	II	III
Температура плавлення, °C	100	110	135
Густина г/см ³ .	0.93	1,01	1
Середній розмір, D50 мкм	9	6	6,5

В якості антикорозійних пігментів використано добавки різної природи у вигляді:

I - Фосфат цинку виробництва «SNCZ l' anticorrosion».

II - Комбінований фосфосилікат кальцію та стронцію виробництва «Nubiola».

III - Іонообмінний аморфний силікогель виробництва «Grace».

Основні характеристики антикорозійних пігментів наведені в таблиці 2.10

Таблиця 2.10

Характеристики антикорозійних пігментів.

Характеристика	Тип антикорозійного пігменту		
	I	II	III
Густина г/см ³ .	3.3	3	3.1
Середній розмір, D50 мкм	5	1.3	3
Адсорбція масла, г/100г пігменту	31	45	80
Число кислотності, рН	7	10	9

2.2 Методи досліджень

2.2.1 Методи визначення фізико-механічних характеристик.

Дослідження порошкового покриття на стійкість до згину навколо циліндричного стрижня проводилось згідно ДСТУ ISO 1519:2015 Фарби та лаки Випробування на згин (навколо циліндричного стержня). Суть методу полягає в тому, що металеву пластину з нанесеною на неї порошковою фарбою затискаємо в випробувальному приладі і згинається навколо циліндричного стержня заданого діаметру (5,6,8,10,12 мм). Після чого виконують огляд пластини на виникнення тріщин. Зображення випробувального приладу наведено на рис. 2.2

(а)

Міцність покриття до дії зворотного удару визначено згідно ДСТУ ISO 6272-2:2015 «Фарби та лаки. Випробування швидкої деформації (ударна міцність). Частина 2». Суть методу полягає в тому, що металева пластина з порошковим покриттям фіксується у випробувальному приладі, так щоб покриття розміщувалось до низу по відношенню до випробувальної площини приладу. Далі встановлювався буйок із заданою вагою 1 кг та діаметром 30 мм. Після чого вагу буйок підіймали на задану висоту по направляючій рейці, та відпускали для виконання удару. По закінченню випробування виконувався огляд пластини на виникнення тріщин, після чого дослідження повторювали до появи тріщин на покритті тестової панелі, збільшуючи чи зменшуючи висоту падіння буйка. Зображення випробувального приладу наведено на рис 2.2. б)

Адгезію покриття методом решітчастого надрізу визначено згідно ДСТУ ISO 2409:2019 «Фарби та лаки. Випробування методом решітчастих надрізів». Випробувальну пластину встановлювали на рівну тверду поверхню, після чого спеціальним шестилезовим ріжучим інструментом (відстань між лезами якого становить 2 мм) при рівномірному тиску на ріжучий інструмент, виконували два надрізи. Перший надріз виконували перпендикулярно до випробувальної пластини, другий під кутом 90° до першого. Всі надрізи доходили до поверхні металу випробувальної пластини. Після чого щіткою очищали пластину в місці решітчастого надрізу. Для порошкового покриття додатково використовували липку стрічку довжиною близько 75 мм, центр стрічки приліплювали на решітку паралельно одному з направлених надрізів. Через 5 хв після нанесення стрічки її видаляли, огляд решітчастого надрізу та його класифікації згідно. ДСТУ ISO 2409:2019. Зображення випробувального приладу наведено на рис 2.2. в)

Адгезію покриття на відрив визначено згідно ДСТУ ISO 4624:2019 «Фарби та лаки. Визначення адгезії методом відриву». Для випробування відібрано шість пластин однакової товщини плівки покриття. Після чого заміщувався двокомпонентний епоксидний клей з рівномірним його нанесенням на очищену поверхню пластини з покриттям та зсуваючого пуансону. Після висихання встановлювався розривний апарат на очищену поверхню пластини з покриттям

та зсуваючого пуансона. Далі виконується розтягуюче зусилля зі швидкістю 1 МПа/с, перпендикулярно площині пофарбованої поверхні, так щоб руйнування поверхні випробувального зразку відбулось протягом 90 с. з моменту початку випробування. Зображення випробувального приладу наведено на рис 2.2 г)

Зміну кольорового спектру покриття визначали згідно ISO 7724-1: 2003 «Фарби та лаки. Колориметрія частина 2. Вимірювання кольору». На контрольну пластину встановлювали вимірювальний прилад після чого знімали показники кольорових спектрів зразка еталону та фіксували його значення, далі прилад встановлювали на випробувальну пластину та знімали її показники. Після чого прилад автоматично вираховував різницю в кольорових спектрах ΔL , Δa , Δb . Зображення випробувального приладу наведено на рис 2.2 д)

Твердість покриття визначали згідно ISO 15184:2015 «Фарби та лаки. Визначення твердості за допомогою олівця». Випробувальну пластину кладуть на рівну горизонтальну поверхню, після чого на неї встановлюють випробувальний прилад з встановленим в ньому гостро заточеним олівцем відповідної твердості (9В-9Н) під кутом 45° та навантаженням приладу 0.75 кг. Після чого за допомогою приладу проводимо лінію довжиною не менше 7 мм зі швидкістю від 0.5 до 0.1 м/с. Через 30 секунд м'якою ватою видаляємо слід від олівця та проводимо оцінку результатів. Якщо візуально поверхня покриття не пошкоджена то повторюємо випробування з олівцем більшої твердості до моменту прояву пошкоджень покриття. Зображення випробувального приладу наведено на рис 2.2 е)

Блиск покриття визначався згідно ДСТУ ISO 2813:2015 «Фарби та лаки. Визначення блиску під кутом 20° , 60° та 85° ». Для цього перед початком випробування прилад для вимірювання блиску калібрували за допомогою калібрувального зразка, який характеризується значенням блиску >88 одиниць, після чого поверхню досліджуваного покриття витирають сухою тканиною та встановлюють прилад на рівну горизонтальну поверхню та вимірюють значення блиску на трьох різних ділянках досліджуваного зразку. Вимірювання блиску виконувалось за допомогою приладу «Testan 60» з кутом виміру 60° . За

результатами випробувань приймали середнє арифметичне значення з трьох вимірів за умови що відмінність результатів не перевищувала 5 одиниць блиску. Зображення випробувального приладу наведено на рис 2.2 є)

Міцність покриття на витягування визначено згідно ДСТУ ISO 1520:2015. «Фарби та лаки. Випробування на витягування». Згідно якого виконували оцінку стійкості порошкового покриття до розтріскування та/або відшарування від металевої поверхні при постійному вдавлюванні пуансону при стандартних умовах. Для цього панель з розмірами 150*60*0,5 мм пофарбована порошковим покриттям встановлювали між фіксувальним кільцем та штампом в такому положенні, щоб кінець видавлюючого пуансону в момент нульового положення (дотику пуансону до панелі) знаходився на відстані не менше 20 мм від її країв. Після чого пуансон вдавлюють в випробувальний зразок зі швидкістю 0,1...0,3 мм/с до моменту коли на поверхні не з'явиться перша тріщина, або ознаки відшарування покриття. Після чого випробування зупиняють та вимірюють глибину відбитку з точністю до 0.1 мм. Зображення випробувального приладу наведено на рис 2.2 ж)

а)



б)



г)



в)

д)



е)



є)



ж)



Рис. 2.2 Зображення випробувальних приладів: а) Прилад для визначення стійкості покриття на згин «NOVOTEST ИЗГИБ ИР»; б) Прилад для визначення стійкості покриття на удар «NOVOTEST УДАР У1»; в) Прилад для визначення адгезії покриття «NOVOTEST АН-1»; г) Прилад для визначення адгезії покриття на відрив «NOVOTEST АЦ-1»; д) Прилад для визначення кольорового спектру покриття «Color Reader PRO»; е) Прилад для визначення твердості покриття

«Novotest ТПК-1 »; є) Прилад для визначення блиску покриття «МЕРТЕКНІК Glossmeter 60°»; ж) Прилад для визначення витягування покриття «Вуко-суп М».

2.2.2 Методи досліджень корозійної стійкості покриття.

Визначення корозійної стійкості порошкових лакофарбових матеріалів до дії нейтрального сольового туману протягом 48/120/240/480/720 год. згідно ДСТУ ISO 9227:2015 «Випробування на корозію в штучних атмосферах. Випробування соляним туманом». Для випробування використовувались по три пластини (розміром 150*60*0,5 мм) зі сталі Ст3, на які були нанесені досліджувані декоративно-захисні покриття з використанням різних типів плівкоутворюючих систем кольору RAL 9016. Перед випробуванням корозійної стійкості спеціальним різцем на зразках було зроблено надрізи покриття до метала довжиною 110 мм і шириною 0,2 мм. Зразки покриттів з надрізами поміщено в камеру соляного туману випробувальною поверхнею вгору під кутом $(20\pm 5)^\circ$ до вертикалі. Камера соляного туману забезпечувала безперервне розпилення розчину хлористого натрію (NaCl) з концентрацією (50 ± 5) г/дм³ при температурі $(35\pm 2)^\circ\text{C}$, рН=7,02, дисперсність туману 1-10 мкм. Середня швидкість збору розчину вимірювалась кожні 24 години і становила $(1,5\pm 0,5)$ мл/год. Для приготування розчину було використано NaCl. Перевірка зразків на відшарування покриття, оцінку ступені ржавіння, оцінка ступеню розтріскування та корозію покриття, проводились через 48/120/240/480/720 год. Оцінювання корозії здійснювалось одразу після витримки пластин в камері нейтрального сольового туману протягом 48/120/240/480/720 год. Випробувальні пластини промивалися під проточною водою після чого просувалися стислим повітрям. Ослаблене захисне покриття видалялося за допомогою леза ножа, після чого визначалась та оцінювалась площа відшарування покриття, та площа розширення корозії від місця надрізу по 8 мм точкам.

Оцінювання характеристик корозійної стійкості покриття проводилось за методиками прописаних в нормативних документах:

Оцінка кількості та типу дефектів покриття проводилась згідно ДСТУ ISO 4628-8:2015 «Фарби та лаки. Оцінювання руйнувань лакофарбових покриттів. Визначення кількості, розмірів дефектів та інтенсивності однорідних змін зовнішнього вигляду. Частина 8. Оцінювання ступеня відшарування та корозії навколо надрізу або іншого штучного дефекту».

Оцінку ступеню ржавіння в місці надрізу проводили згідно ДСТУ ISO 4628-3:2015 «Фарби та лаки. Оцінювання руйнувань лакофарбових покриттів. Визначення кількості, розмірів дефектів та інтенсивності однорідних змін зовнішнього вигляду. Частина 3. Оцінювання ступеня іржавіння».

Оцінку загальної стійкості покриття до дії нейтрального сольового туману проводили згідно ДСТУ ISO 4628-4:2015 «Фарби та лаки. Оцінювання руйнувань лакофарбових покриттів. Визначення кількості, розмірів дефектів та інтенсивності однорідних змін зовнішнього вигляду. Частина 4. Оцінювання ступеня розтріскування».

Класифікацію корозійної стійкості покриття виконували згідно ДСТУ ISO 12944-2:2019 «Фарби та лаки. Захист від корозії сталевих конструкцій захисними лакофарбовими системами. Частина 2. Класифікація середовищ»



Рис. 2.3 Камера сольового туману « Testex TU380»

2.2.3 Фізико-хімічні методи досліджень корозійної стійкості покриття.

Визначення мікроструктури та морфології поверхні покритих зразків виконано за допомогою скануючого електронного мікроскопа (SEM) «Verios SEM» від

компанії FEI, обладнаного енергодисперсійною спектроскопією (EDX). Даний мікроскоп дає можливість отримати тривимірні знімки покриття, що дає змогу вивчати структуру сканованої поверхні. У камері мікроскопа створюють високий вакуум (10^{-7} мБар), для усунення взаємодії електронів з молекулами повітря. При роботі електронного мікроскопа пучок електронів виходить з джерела катода - електронної гармати і прискорюється високою напругою, при цьому для управління пучком використовується система магніто-електричних конденсорів-лінз таким чином, щоб він попадав паралельно на вибрану ділянку об'єкта. При попаданні на об'єкт частина електронів розсіюється в залежності від порядкового номера елемента і його оточення в кристалічній структурі, частина збуджує речовину об'єкта, викликаючи при цьому емісію характеристичного випромінювання. Після чого аналізується енергетичний спектр емітованого рентгенівського випромінювання, що утворюється при взаємодії електронного пучка та атомів об'єкта. Зображення випробувального приладу наведено на рис 2.4



Рис. 2.4 Скануючий електронний мікроскоп «Verios SEM»

Оцінку корозійної стійкості зразків проводили за допомогою електрохімічної імпедансної спектроскопії (EIS). Вимірювання EIS проводили за допомогою МС VersaSTAT 4. У цих випробуваннях була використана типова триелектродна система. Зразки виконували роль робочого електрода (1 см^2 відкритої зони) насиченого каломельного електрода, як еталонного, а графіт- як протилежний електрод. У всіх вимірах 3.5% розчин NaCl використовували як електроліт. Вимірювання EIS проводились в діапазоні частот від 100 кГц до 0.01

Гц, а прикладена напруга становила 5мВ. Зображення випробувального приладу наведено на рис 2.5

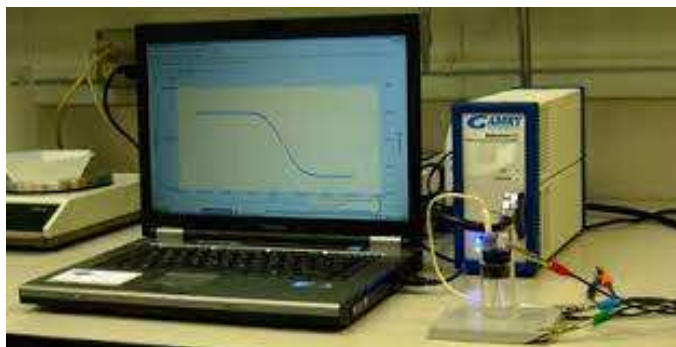


Рис. 2.5 Електрохімічний імпедансний спектроскоп

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПОРОШКОВИХ ЛАКОФАРБОВИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЗАХИСТУ БУДІВЕЛЬНИХ МЕТАЛЕВИХ ВИРОБІВ

В даному розділі досліджено особливості процесів структуроутворення порошкових лакофарбових матеріалів при розширенні їх сировинної бази, в напрямку формування покриття для ефективного захисту будівельних металевих виробів, шляхом розкриття закономірностей впливу зв'язувальної речовини (плівкоутворювача), зшиваючого агенту та наповнювачів різної природи основної діючої речовини на формування фізико-механічних, декоративних та захисних властивостей порошкового покриття.

3.1 Закономірності формування структури і властивостей в модельній системі « плівкоутворювач-зшиваючий агент».

З метою виявлення закономірностей впливу плівкоутворювача та зшиваючого агента на формування структури і властивостей порошкового покриття було проведено дослідження фізико-механічних та декоративних характеристик, а також антикорозійного захисту модельних систем “плівкоутворювач – зшиваючий агент” в залежності від виду плівкоутворювача, його основних характеристик (температури склування, вязкості розплаву, кислотного числа, реакційної здатності) та його співвідношення, а також виду та витрати зшиваючого агента.

3.1.1 Вплив плівкоутворювача на формування властивостей систем порошкового покриття.

В якості плівкоутворювачів було обрано термотвердіючі олігомери різного виду у вигляді епоксидних, карбоксилівмісних поліефірних і поліефірно-

епоксидних (гібридних) смол, які є найбільш поширеними представниками зв'язувальних речовин для можливості отримання систем порошкового покриття. [106]. Відкритим залишається питання їх впливу на формування фізико-механічних та експлуатаційних властивостей порошкового покриття залежно від хімічної структури та основних характеристик плівкоутворювача. Загальна характеристика досліджуваних плівкоутворювачів наведено в табл. 2.1.

В якості зшиваючих агентів було обрано наступні речовини залежно від виду плівкоутворювача: для карбоксилівмісних поліефірних смол, які утворюють полімерну матрицю за допомогою ступінчастої полімеризації використано зшиваючі агенти у вигляді тригліцедилізоціанурату (TGIC) та гідроксіалкідаміду (HAA); для епоксидних смол використано типовий представник зшиваючого агенту серед аліфатичних твердих амінів у вигляді діциандіаміду (DICU); для карбоксильно-функціональних поліефірних смол використано епоксидну смолу бісфенолу А.

Склади досліджуваних систем з використанням відібраних плівкоутворюючих речовин та зшиваючих агентів наведено в табл. 3.1. В якості контрольних складів використано рідку систему лакофарбового покриття на основі алкідної смоли (Uraqud), а також порошкову систему на основі епоксидної смоли, які традиційно використовуються для антикорозійного захисту металевих поверхонь.

В загальному, використано наступні модельні системи:

- «Поліефірний плівкоутворювач – тригліцедилізоціанурат»;
- «Поліефірний плівкоутворювач – гідроксіалкіламід»;
- «Поліефірно-епоксидний плівкоутворювачі»;
- «Епоксидний плівкоутворювач – дициандіамід» (контрольний);
- «Алкідний плівкоутворювач» (контрольний).

Затвердіння порошкового покриття на зразках-пластинах на підставі відомих даних щодо режимів полімеризації [49] здійснювалось в камері твердіння при режимі 180 °С, 10 хв для систем: «поліефірний плівкоутворювач – гідроксіалкіламід», «поліефірно-епоксидний плівко-утворювачі»; 200 °С, 10 хв

для систем: «поліефірний плівкоутворювач – тригліцидилізоціанурат»; «епоксидний плівкоутворювач – диціандіамід».

Таблиця 3.1

Склади лакофарбових модельних систем

№ п/п	Найменування	Вміст сировинних матеріалів, %	
		Плівкоутворювач	Зшиваючий агент
Поліефірні системи (зшиваючий агент TGIC)			
1	Crylcoat 2441-3T	93	7
2	Crylcoat E04484	93	7
3	EP-2105	93	7
Поліефірні системи (зшиваючий агент HAA)			
4	Crylcoat 2618-3	94	6
5	GP 95518/T	94	6
6	EP-3126	94	6
7	PC2812T	94	6
Поліефірно-епоксидні системи (Гібридні)			
8	Crylcoat 1771-3 – Epidian 033A	70	30
9	GS 7371/T – Epidian 033A	70	30
10	GS 7371/T – D.E.R. 663EU	70	30
11	Crylcoat 1771-3 – D.E.R. 663EU	70	30
Порошкова епоксидна система (контрольний склад_для порівняння)			
12	CHS 130 – DICU	94	6
Рідка алкідна система (контрольний склад_для порівняння)			
13	Urakyd		

За результатами досліджень встановлено, що фізико-механічні та декоративні характеристики досліджуваних систем покриття суттєво змінюються залежно від виду плівкоутворювача та його основних характеристик, а також від виду зшиваючого агента. Так, покриття на основі рідкої алкідної системи (контрольний склад) характеризується наступними

властивостями: міцність до дії зворотного удару – 20 см/кг (рис. 3.1), міцність на згин навколо циліндричного стрижня становить 12 мм (рис. 3.2), блиск покриття – 72 ° (рис. 3.3), міцність на витягування – 4,6 мм (рис. 3.4), адгезія методом решітчастого надрізу відповідає класу 0, адгезія методом відриву – 9 МПа (рис. 3.5). В той же час, покриття на основі порошкової епоксидної системи (CHS 130 + DYCУ) характеризується міцністю до дії зворотного удару на рівні 60 см/кг, що на 200 % вище порівняно із алкідною системою, при цьому спостерігається зростання міцності на згин навколо циліндричний стрижня на 33 %, а міцність на витягування на 13 %. Адгезія методом відриву епоксидних систем становить 15 МПа, що на 65 % є також вищим. Це може бути пов'язано з тим, що в процесі плівкоутворення епоксидних систем під дією високих температур, з розплаву в результаті фізичної сорбції та хемосорбції макромолекул на активних центрах поверхні підкладки формуються міцні міжфазні з'єднання на межі границі плівка – метал, що, в свою чергу сприяє отриманню високих фізико-механічних властивостей покриття [153].

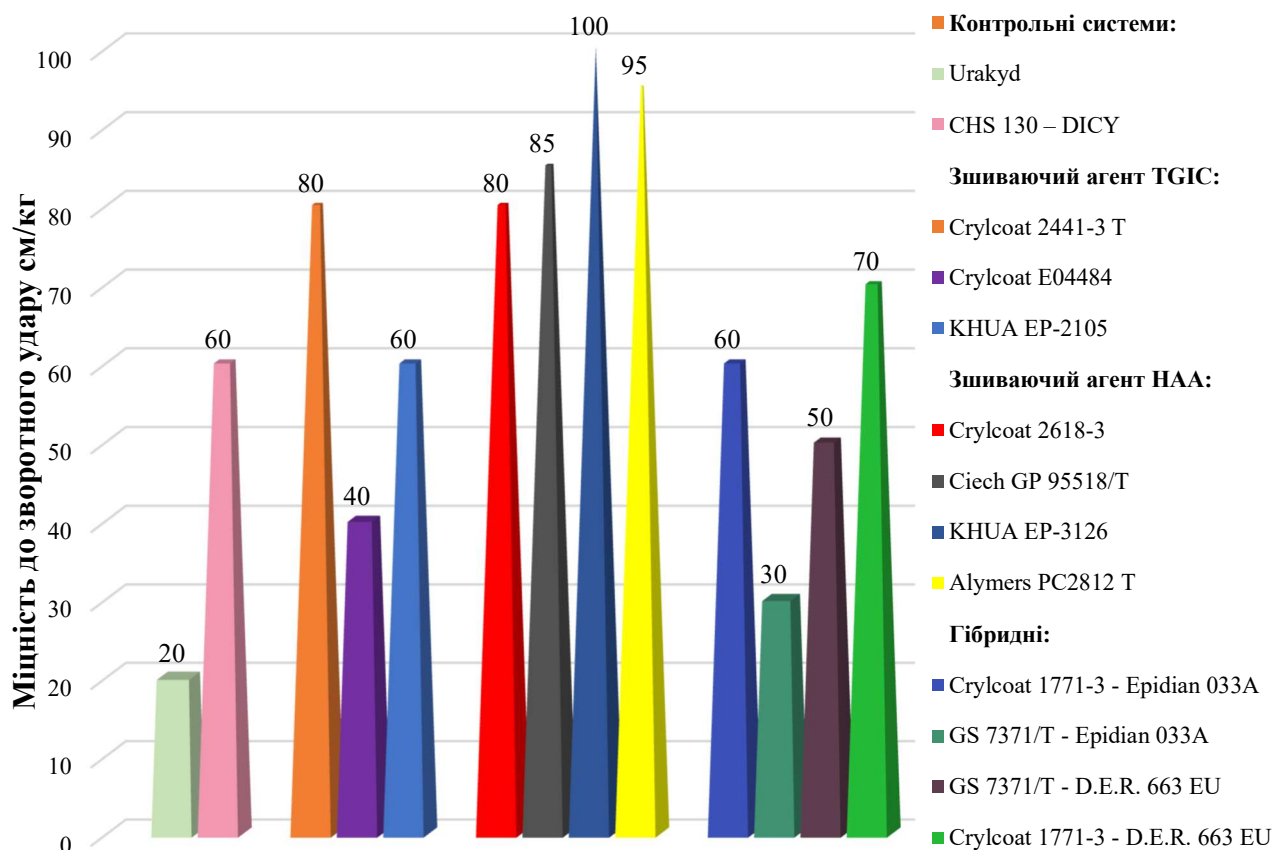


Рис. 3.1. Міцність покриттів до дії зворотного удару.

В загальному, фізико-механічні характеристики покриттів на поліефірних плівкоутворювачах є вищими порівняно із традиційною рідкою системою. Однак, в порівнянні з епоксидною системою доцільність їх використання змінюється залежно від основних характеристик плівкоутворювача та виду зшиваючого агента. Так, застосування системи на основі КНУА ЕР-2105 та TGIC сприяє отриманню міцності до дії зворотного удару (60 см/кг) та міцності на згин (8 мм) на рівні порошкової епоксидної системи. При цьому міцність на витягування покриття підвищується на 20 %. В свою чергу використання Crylcoat E04484 призводить до суттєвого зниження фізико-механічних властивостей покриття, за показниками: міцності до дії зворотного удару (40 см/кг), міцності на згин (10 мм) та витягування (5,6 мм), в порівнянні з вищевказаною системою на основі поліефірної смоли КНУА ЕР-2105. Даний ефект можна пояснити тим, що поліефірна смола Crylcoat E04484 характеризується вищими показниками в'язкості порівняно з КНУА ЕР-2105 (табл.2.1.), що в свою чергу призводить до зниження ефективності розтікання плівки модельної системи по поверхні субстрату під час процесу затвердіння покриття, погіршенні взаємодії функціональних груп полімеру з активними центрами субстрату, та, відповідно, зниженні фізико-механічних властивостей матеріалу.

Використання поліефірної смоли Crylcoat 2441-3Т зі зменшеною в'язкістю (табл. 2.1) сприяє підвищенню міцності покриття при дії зворотного удару до 80 см/кг (рис.3.1.) порівняно з контрольними складами (20...60 см/кг), а також забезпечує високі показники міцності на згин (8 мм) та витягування (7,4 мм). При цьому адгезія покриття методом відриву становить 15 МПа (рис. 3.4), що на 71 % вище порівняно із контрольною системою на основі традиційного рідкого покриття.

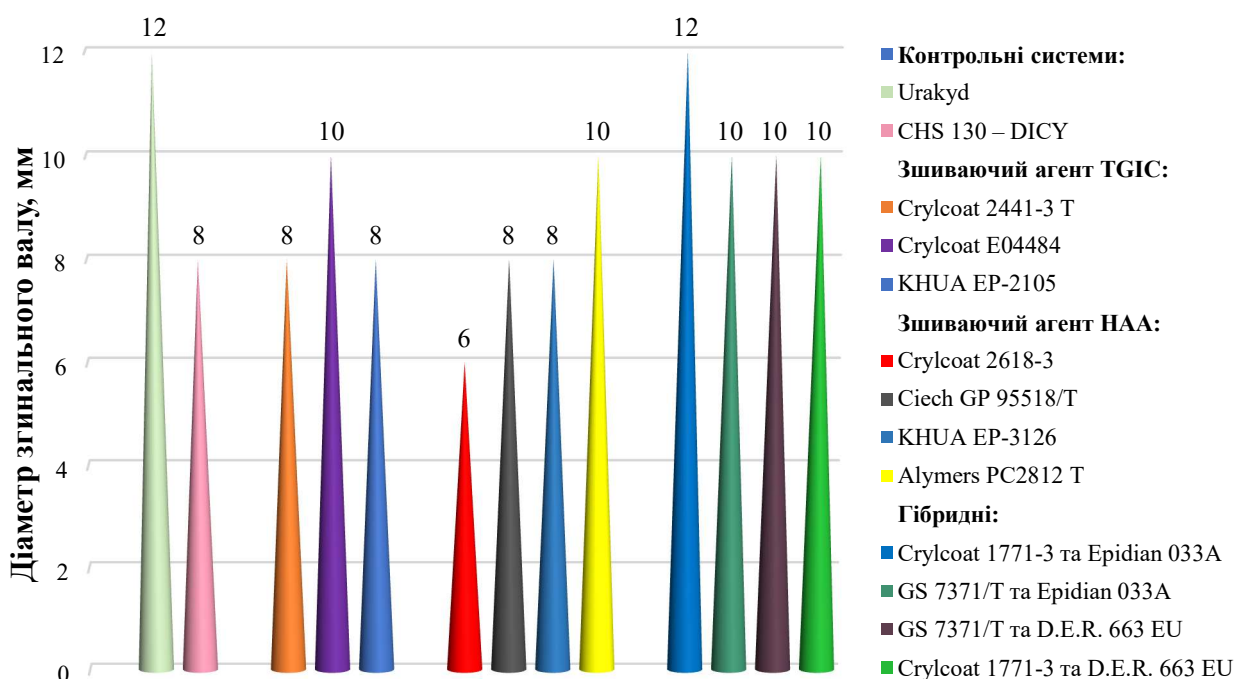


Рис 3.2 Згинальна міцність покриттів навколо циліндричного стержня.

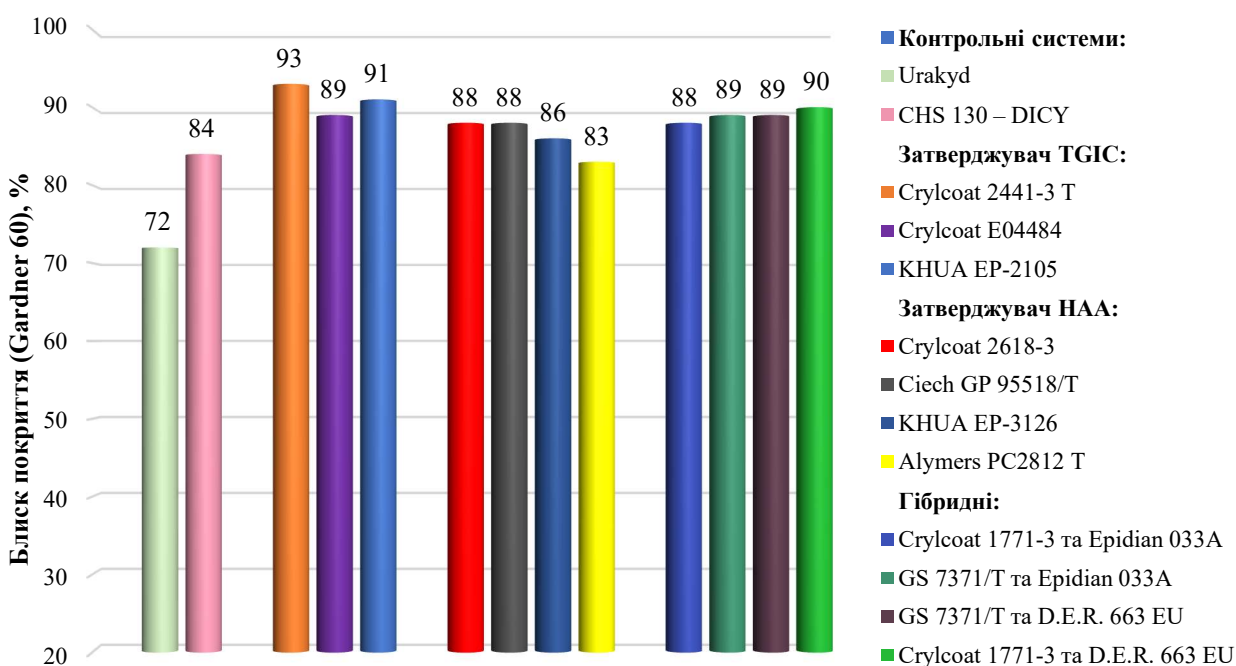


Рис. 3.3. Блиск покриттів під кутом 60°

Аналогічна тенденція зберігається і при використанні системи «поліефірний плівкоутворювач – НАА». Так, використання поліефірної смоли Crylcoat 2618-3 T (в'язкість - 3600 мПа·с) та НАА сприяє підвищенню міцності до дії зворотного удару (80 см/кг) та міцності на згин (6 мм) що на 33 % та 30 %, відповідно, більше порівняно з епоксидною порошковою системою. При цьому

адгезія покриття (15 МПа) методом відриву зберігається на рівні контрольного складу (CHS 130 – DICY) та є суттєво вищою порівняно із традиційною рідкою системою (9 МПа).

Зменшення показника в'язкості поліефірних плівкоутворювачів (згідно табл. 2.1) сприяє підвищенню фізико-механічних властивостей покриття (рис 3.1...рис.3.5). Так, модельна система на основі смоли Alymers PC2812T (в'язкість - 3100 мПа-с) характеризується вищими показниками міцності до дії зворотного удару – 95 см/кг та адгезії – 18 МПа, що на 15 % та 16 %, відповідно, є вищим порівняно з аналогом Cerylcoat 2618-3. При цьому спостерігається зростання міцності системи на витягування (на 5,7 %) та міцності на згин (на 25 %). Аналогічна закономірність спостерігається при використанні поліефірної смоли КНУА EP-3126 зі зменшеною в'язкістю (3000 мПа-с). Міцність покриття до дії зворотного удару є найвищою з досліджуваних систем, що становить >100 см/кг, адгезія – 19 МПа, блиск – 86°, міцність на згин - 8 мм. При цьому, зростає також міцність на витягування – 7,1 мм.

Основним недоліком застосування поліефірних смол (Alymers PC2812T та КНУА EP-3126) які характеризуються найменшим показником в'язкості (3000...3100 мПа-с) з досліджуваних плівкоутворювачів є погіршення технологічних властивостей отриманого порошку, що проявляється у зниженні ефективності нанесення порошкової системи та зменшенні тривалості зберігання готового продукту. Це пов'язано з тим, що із суттєвим зменшенням показника в'язкості поліефірної смоли, знижується температура склування (T_g) порошкової системи, що в свою чергу призводить до зростання чутливості системи до зміни температури навколишнього середовища під час нанесення та зберігання готового продукту.

Тому для забезпечення високих фізико-механічних характеристик поліефірного порошкового покриття без погіршення технологічних властивостей системи доцільно використовувати плівкоутворювачі із показниками динамічної в'язкості по Брукфільду в межах 3600...4200 мПа-с (при $t = 200$ °C).

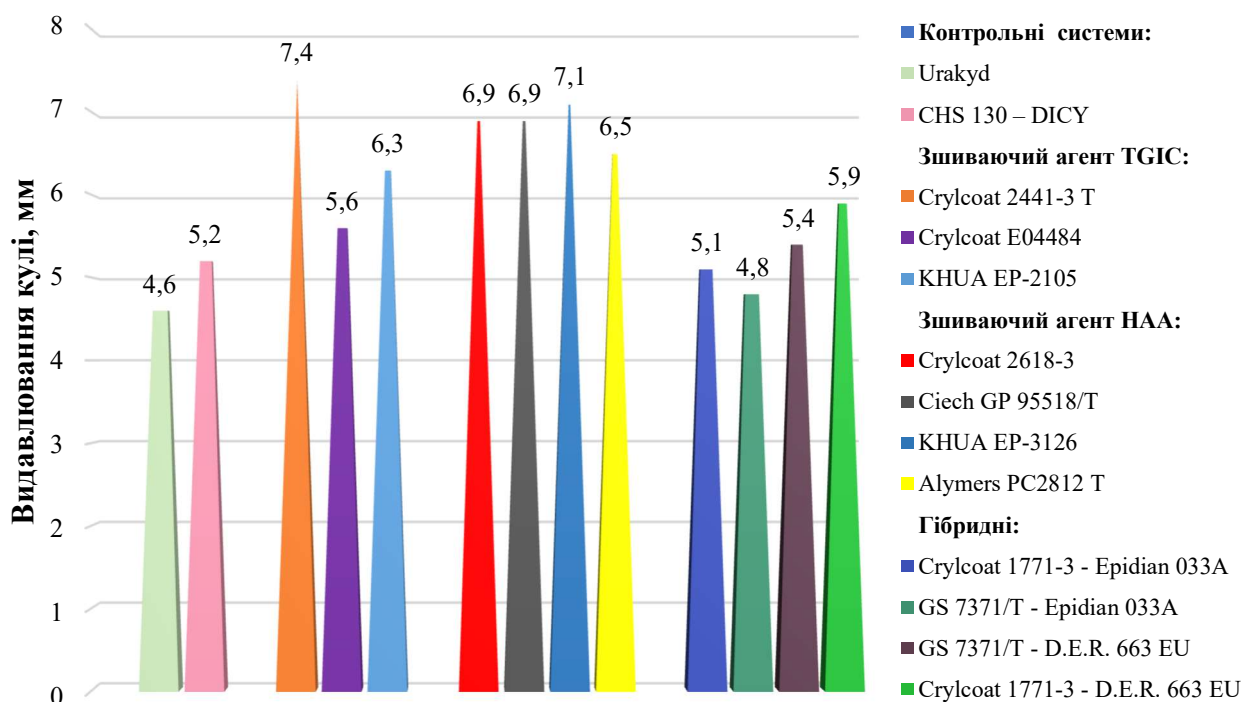


Рис. 3.4 Пластична міцність покриттів на витягування.

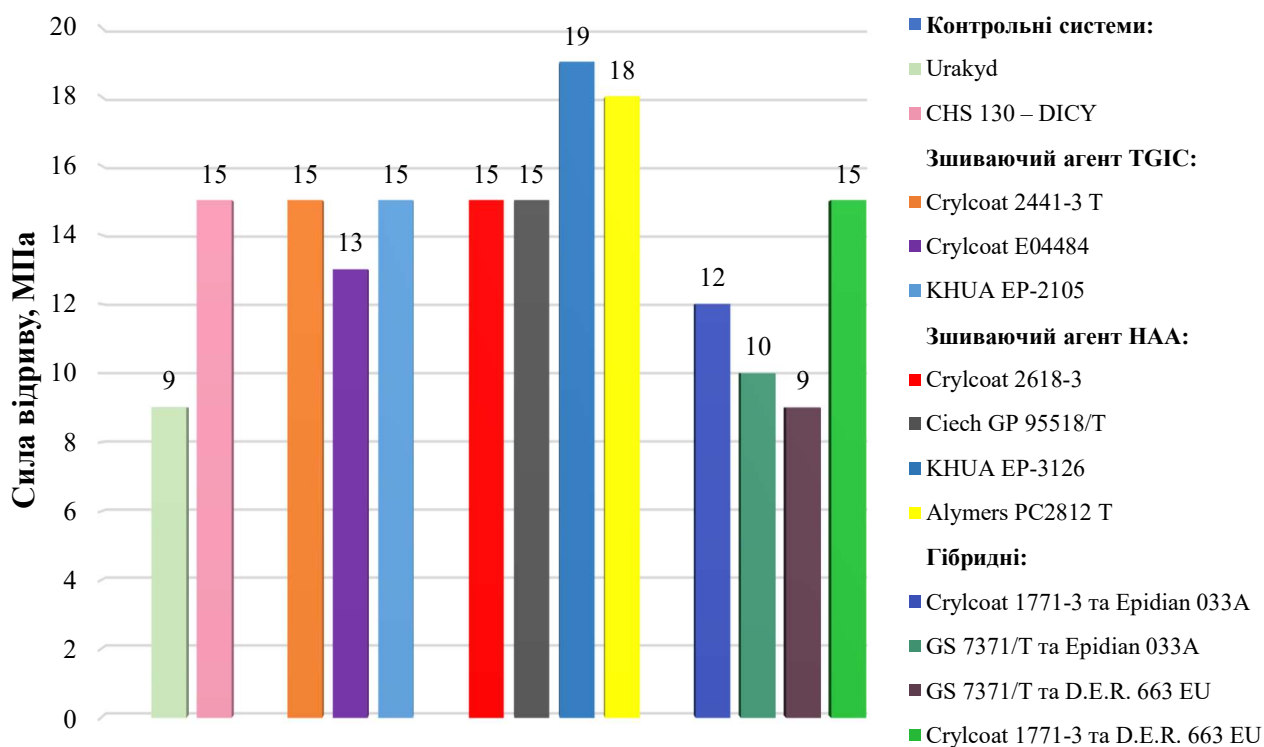


Рис. 3.5 Адгезія покриттів методом відриву.

За результатами досліджень системи «поліефірно-епоксидний плівкоутворювач (70/30)» виявлено, що дія комплексу смол поліефірна-епоксидна на формування властивостей покриттів є менш ефективною, порівняно з поліефірними. Так, використання системи на основі поліефірної смоли Crylcoat 1771-3 та епоксидної Epidian 033A забезпечує міцність покриття

до дії зворотного удару на рівні 60 см/кг, що на 25 % менше порівняно із вищевказаними поліефірними системами. При цьому, знижується міцність покриття на витягування – 5,1 мм, та згин – 10 мм. Слід зазначити, що отримані фізико-механічні характеристики системи «поліефірно-епоксидний плівкоутворювач» є вищими порівняно з контрольним складом на основі алкідної смоли (рис. 3.1...3.5), проте нижчими порівняно із епоксидною системою. Використання комбінації смол GS 7371/Т та Eridian 033А демонструє зниження показників міцності до дії зворотного удару на 50 % менше порівняно з Crylcoat 1771-3 та Eridian 033А і становлять 30 см/кг, міцність на витягування – 4,8 см, міцність на згин – 12 мм, адгезія 12 МПа, що є найнижчими фізико-механічними характеристиками серед усіх досліджуваних систем. Це зумовлено тим, що смоли GS 7371/Т та Eridian 033А характеризуються найвищими показниками в'язкості (табл. 2.1), що в свою чергу призводить до погіршення механічних властивостей покриття.

В свою чергу поєднання смол Crylcoat 1771-3 та D.E.R. 663 EU (із низькими показниками в'язкості) демонструють найвищі фізико-механічні характеристики серед систем покриття «поліефірно-епоксидний плівкоутворювач», що підтверджує вплив показників в'язкості смол на властивості покриттів. Так, міцність покриття до дії зворотного удару становить 70 см/кг, блиск - 90°, міцність на витягування – 5,9 мм, при цьому вказані показники є вищими порівняно з контрольним складом на основі епоксидної смоли (рис. 3.1...3.5).

Таким чином в результаті досліджень виявлено, що використання порошкових систем, різної хімічної природи забезпечує вищі фізико-механічні характеристики покриттів порівняно з традиційними системами на основі рідкої акрилової смоли та порошкової епоксидної смоли, що, в свою чергу дає підставу розглядати такі системи як альтернативу захисту будівельних металевих виробів та конструкцій від механічних впливів. При цьому показано, що зміна плівкоутворювача та зшиваючого агента в складі порошкових систем, по різному впливають на формування властивостей порошкового покриття залежно від виду плівкоутворювача та його характеристик (в'язкості, температури склування), а

також типу зшиваючого агента. Використання систем «поліефірний плівкоутворювач – TGIC», «поліефірний плівкоутворювач – НАА» забезпечують отримання високих фізико-механічних властивостей покриттів без погіршення технологічних властивостей систем при використанні плівкоутворювачів із показниками динамічної вязкості по Брукфільду в межах 3600...4200 мПа·с (при $t = 200$ °С). В свою чергу, зменшення показника температури склування та підвищення показнику в'язкості смоли, негативно впливає на формування технологічних властивостей порошкових систем і, відповідно, фізико-механічних характеристик покриття.

Використання системи «поліефірно-епоксидний плівкоутворювач» є менш ефективною, порівняно з поліефірними, проте використання плівкоутворювачів із низькими показниками в'язкості сприяє отриманню фізико-механічних властивостей покриттів на рівні порошкової епоксидної системи.

В таблиці 3.2 наведено узагальнюючі результати досліджень по ефективності впливу модельних систем на формування фізико-механічних та оптичних властивостей покриття. Показано, що найвищі фізико-механічні характеристики покриття демонструють поліефірні системи «Crylcoat 2441-3Т – TGIC», а також «Crylcoat 2618 – НАА».

Таблиця 3.2

Ефективність впливу лакофарбових модельних систем на формування фізико-механічних та оптичних властивостей покриття

Найменування	Міцність до зворотного удару	Адгезія	Блиск	Пластична міцність	Згинальна міцність
Поліефірні системи (Зшиваючий агент TGIC)					
Crylcoat 2441-3Т	+++	+++	+++	+++	+++
Crylcoat E04484	+	+++	++	++	++
KNUA EP-2105	+	+++	+++	++	++
Поліефірні системи (Зшиваючий агент НАА)					
Crylcoat 2618-3	+++	+++	+++	+++	+++
Ciech GP 95518/T	+++	+++	++	++	+++
KNUA EP-3126	+++	+++	++	++	+++
Alymers PC2812T	+++	+++	+	++	++

<i>Продовження таблиці 3.2</i>					
Поліефірно-епоксидні системи (Гібридні)					
Crylcoat 1771-3 – Epidian 033A	+	+++	++	+	++
GS 7371/T – Epidian 033A	+	+++	++	+	++
GS 7371/T – D.E.R. 663 EU	+	+++	++	+	++
Crylcoat 1771-3 – D.E.R. 663 EU	+	+++	+	+++	+++
Порошкова епоксидна система (Контрольний склад)					
CHS 130 – DICY	++	+++	+	++	+++
Рідка алкідна система (Контрольний склад)					
Urakyd	+	++	+	+	+

+ - задовільно, ++ - добре, +++ - відмінно

3.1.2. Вплив плівкоутворювача на корозійну стійкість систем порошкового покриття

Дослідження корозійної стійкості систем порошкових покриттів на основі різних типів плівкоутворювачів та зшиваючих агентів проведено у відповідності до ДСТУ ISO 9227:2015 «Випробування на корозію в штучних атмосферах. Випробування соляним туманом (конденсація водного розчину хлориду натрію на поверхні зразків при температурі 35 °C)».

Аналіз результатів досліджень фізико-механічних властивостей при дії агресивного середовища у вигляді сольового туману протягом 48...720 годин свідчить про те, що розглянуті модельні системи покриття, залежно від типу плівкоутворювача та зшиваючого агента характеризуються різною ефективністю впливу на корозійну стійкість отриманих покриттів.

Згідно результатів випробування **зміни кольорового спектру покриття** (показник характеристики захисної функції покриття, зміна якого протягом випробування є ознакою розвитку корозійних процесів) під дією сольового туману виявлено, що поліефірні та гібридні порошкові системи характеризуються вищою стабільністю в кольорі при низькій зміні ΔE показника протягом випробування порівняно з рідкою алкідною та порошковою епоксидною системами, що свідчить про високу стійкість досліджених поліефірних покриттів (рис 3.6). Так, показник кольорового спектру контрольної алкідної системи (склад №13) після 720 годин дії сольового туману змінюється з 0,1 до 1,2 ΔE . В

той же час, порошкова система на основі епоксидної смоли та зшиваючого агента DICY (склад №12), характеризується зміною кольорового спектру покриття з 0,1 до 0,8 ΔE , що на 50 % є нижчим порівняно з алкідною системою.

Найбільшою стійкістю до зміни кольорового спектру при дії сольового туману характеризуються поліефірні системи складу № 1, № 3 (Crylcoat 2441-3Т з плівкоутворювачем TGIC) та (Crylcoat2618-3 з плівкоутворювачем HAA). Так, показники кольорового спектру після випробування покриття змінюється з 0,1 до 0,4 дельта Е. Таким чином використання систем на основі поліефірних смол забезпечують найбільшу стійкість покриття до зміни кольорового спектру при дії сольового туману протягом 720 годин.

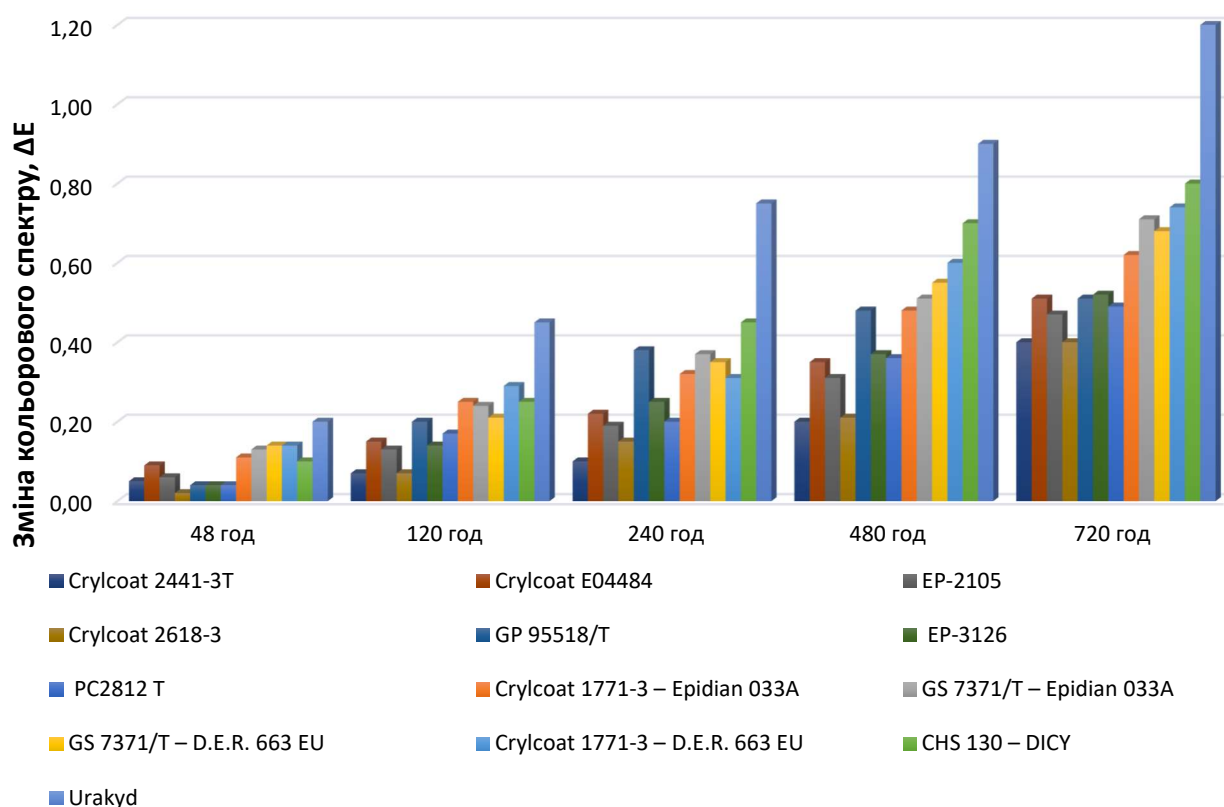


Рис 3.6. Зміна кольорового спектру систем покриття під дією сольового туману.

Втрата маси зразків. На рис. 3.7. наведено результати досліджень втрати маси зразків покриття при дії сольового туману залежно від типу плівкоутворювача та його характеристик, а також від виду зшиваючого агента. Виявлено, що при використанні систем на основі поліефірних плівкоутворювачів та зшиваючого агента TGIC показники втрати маси досліджуваних зразків при дії сольового туману протягом 720 годин знаходяться в діапазоні 0,18...0,32 %

залежно від характеристик поліефірної смоли. Так, при використанні складу №1 (Crylcoat 2441-3T) втрата маси зразка після випробування становить 0,18 %, для складу №2 (Crylcoat E04484) втрата маси становить 0,14 %, для складу №3 (KHUA EP-2105) втрата маси становить 0,32 %. Різниця у відсотках втрати маси досліджуваних зразків пов'язано із зміною кислотного числа досліджуваних поліефірних плівкоутворювачів (табл. 2.1). При зменшенні числа кислотності плівкоутворювача втрата маси зразку при дії сольового туману зростає.

В той же час, аналогічна ситуація спостерігається і при використанні систем на основі поліефірних плівкоутворювачів та зшиваючого агента НАА. Так, при використанні Crylcoat 2618-3 (кислотне число – 35) втрата маси зразка після випробування становить 0,16 %, при використанні PC2812T (кислотне число – 31) втрата маси зразка становить 0,25 %, при використанні EP-2105 (кислотне число – 28) втрата маси становить 0,32 %.

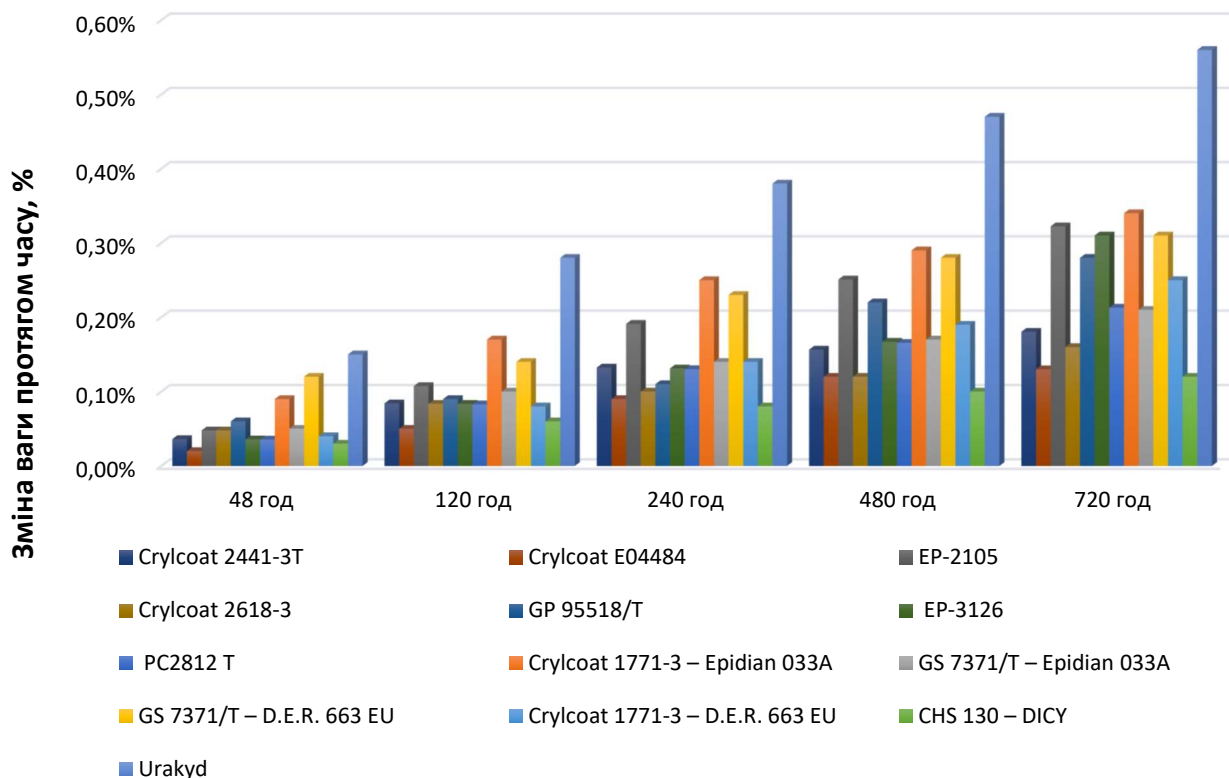


Рис. 3.7 Зміна маси зразків досліджуваних систем (згідно табл. 3.1) при дії сольового туману протягом 720 год.

За результатами досліджень системи «поліефірно-епоксидний плівкоутворювач» виявлено, що дія комплексу смол поліефірна-епоксидна на

формування властивостей покриттів є менш ефективною, порівняно з поліефірними – втрата маси зразків знаходиться в діапазоні від 0,25 % до 0,35 % після дії сольового туману протягом 720 годин, залежно від кислотного числа смол (розділ 2.1).

Слід зазначити, що найбільшу втрату маси зразка (0,55 %) при дії сольового туману протягом 720 годин, демонструє система на основі традиційного антикорозійного покриття, що свідчить про її низьку ефективність захисту від корозії порівняно із досліджуваними порошковими лакофарбовими системами.

Таким чином виявлено, що найбільшою стійкістю до зміни маси при дії сольового туману демонструє система порошкового покриття на основі поліефірного (Crylcoat E04484) плівкоутворювача, який характеризується найбільшим показником кислотного числа (39 мг КОН/г) серед досліджуваних звязуючих речовин.

Міцність до зворотного удару. Показано, що міцність до зворотного удару всіх досліджуваних систем різко знижується при дії сольового туману (рис. 3.6). Найбільшим зниженням міцності до зворотного удару характеризується система на основі рідкого антикорозійного покриття (склад № 13), яка характеризується невисокою початковою міцністю до зворотного удару (20 см/кг), з подальшою її 100 % втратою вже через 240 год витримування при дії сольового туману, що проявляється у руйнуванні покриття та свідчить про неефективність вказаних систем в забезпеченні високої корозійної стійкості.

Серед порошкових покриттів найнижчі результати міцності до зворотного удару демонструють модельні системи на основі епоксидно-поліефірного плівкоутворювачів, що свідчить про їх низьку стійкість до дії сольового туману. Вже через 240 годин дії сольового туману міцність до зворотного удару покриттів знижується на 40...50 %. Через 720 годин дії сольового туману спостерігається руйнування порошкового покриття.

При використанні систем на основі поліефірних або епоксидного (контрольний склад) плівкоутворювачів, міцність до зворотного удару досліджуваних зразків при дії сольового туману також знижується (рис. 3.7). Найнижчим результатом характеризуються системи складів №3, № 5, № 6, № 10, № 11 (табл. 3.1) – через 720 годин дії сольового туману спостерігається руйнування порошкового покриття. Найвищі показники міцності до зворотного удару через 720 годин дії сольового туману демонструють склади № 1 (Crylcoat 2441-3T – TGIC), № 3 (Crylcoat 2618-3 – HAA) – міцність знижується на 40...60 %, що відповідає показникам контрольної системи на основі епоксидної смоли та характеризує їх, як найбільш стійкі до зворотного удару при дії агресивного середовища.

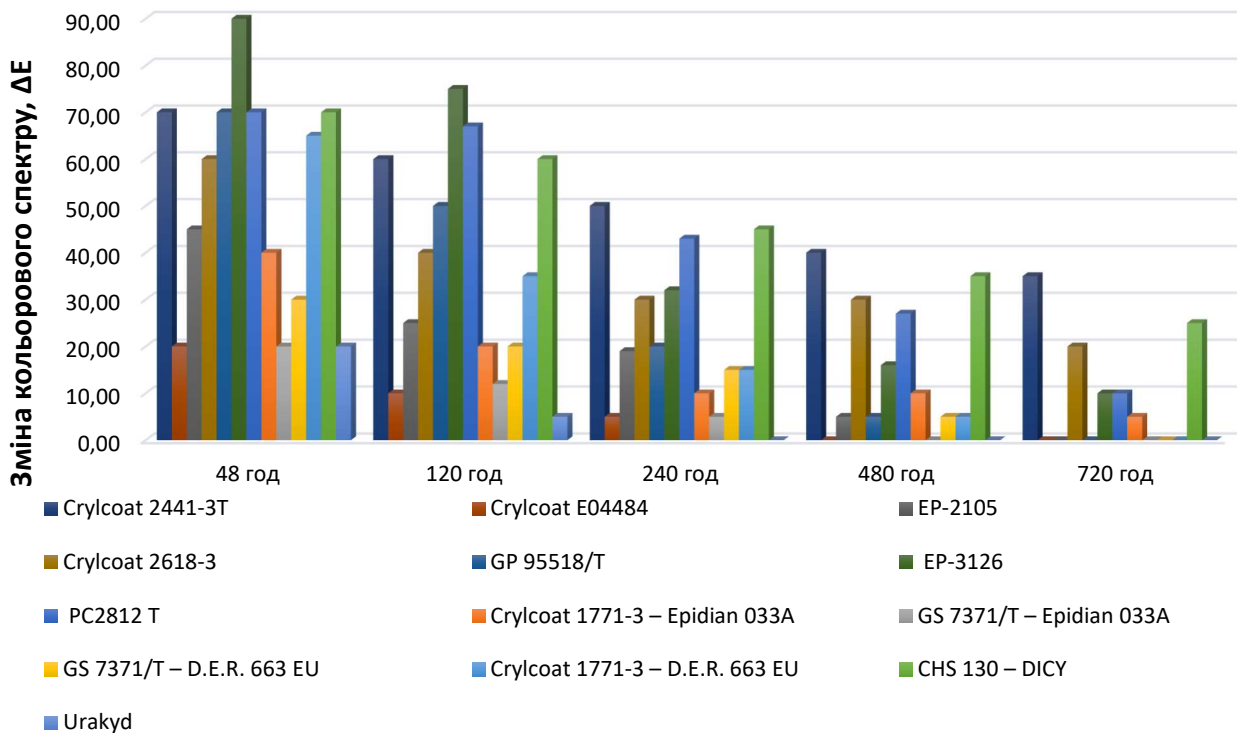


Рис. 3.8. Міцність до зворотного удару досліджуваних систем (згідно табл. 3.1) при дії сольового туману протягом 720 год.

Таким чином, за результатами досліджень виявлено, що корозійна стійкість покриттів на основі порошкових систем змінюється залежно від типу плівкоутворюючого компоненту, його характеристик, а також типу зшиваючого агента. Так, використання систем на основі поліефірно-епоксидного плівкоутворювачів для захисту від корозії при дії сольового туману протягом 720

годин є неефективним, що зумовлено суттєвим зменшенням маси зразків та 100 % втратою міцності покриття при дії зворотного удару.

Ефективність використання поліефірних систем при дії сольового туману залежить переважно від показника кислотного числа плівкоутворюючого компоненту. Так, при використанні систем на основі Crylcoat 2441-3 T – TGIC та Crylcoat 2618-3 – HAA (кислотне число – 34...35 мг КОН/г) забезпечується висока корозійна стійкість порошкового покриття при дії сольового туману, що проявляється в низькій втраті маси зразка на рівні 0,16...0,18 % та збережені міцності до зворотного удару при дії сольового туману протягом 720 годин. Однак, зі зменшенням кислотного числа плівкоутворювача стійкість покриття знижується – підвищується втрата маси зразків та різко знижується міцність до зворотного удару покриття при дії сольового туману. В той же час, використання системи на основі Crylcoat E04484– TGIC (число кислотності 39 мг КОН/г), сприяє зниженню втрат маси зразки до 0,14 % при дії сольового туману, однак не забезпечує високу, як початкову, так і кінцеву міцність покриття до зворотного удару. Це може бути пов'язано з тим, що збільшення кислотного числа плівкоутворювача призводить до підвищення корозійної стійкості покриття, однак зумовлює суттєве зниження його механічних властивостей (рис. 3.1., рис. 3.2., рис.3.6).

В загальному, використання систем на основі поліефірних плівкоутворювачів із показником кислотного числа в діапазоні 35...39 (мг КОН/г), забезпечують отримання корозійної стійкості покриття при дії сольового туману протягом 720 год на рівні порошкової епоксидної системи, яка традиційно використовується для антикорозійного захисту металевих поверхонь, проте характеризується низькою стійкістю до дії ультрафіолетових променів, що обмежує її застосування при дії атмосферних факторів.

3.1.3. Класифікація досліджуваних систем до категорій атмосферної корозійної агресивності.

Враховуючи те, що склад і ступінь корозійної агресивності навколишнього середовища встановлюється для конкретних об'єктів та споруд залежно від їх розміщень, мікрокліматичного району та характеру технологічних рішень, в даній роботі запропоновано класифікацію досліджуваних систем до категорій атмосферної корозійної агресивності згідно ДСТУ ISO 12944-2:2019, а також їх довговічність у відповідності до ДСТУ ISO 12944-1:2019.

За результатами досліджень встановлено (рис. 3.9., рис. 3.10), що використання контрольного складу на основі рідкої алкідної смоли призводить до отримання найбільшого показника відшарування покриття серед досліджуваних систем, що становить 22,1 мм, а також розширення корозії металу до 16,5 мм при дії сольового туману протягом 720 годин. При цьому досліджуваний зразок характеризується ступенем ржавіння Ri5 згідно ДСТУ ISO 4628-3:2015, що відповідає площі ржавіння 42...50 %. Аналіз отриманих результатів досліджень свідчить про те, що антикорозійне покриття на основі алкідної смоли відповідає класу категорії корозійної стійкості C1 (дуже низький) у відповідності до ДСТУ ISO 12944-2:2019, а також низькому класу довговічності (L) до 7 років згідно ДСТУ ISO 12944-1:2019 (табл.3.3).

Використання контрольного складу на основі епоксидного плівкоутворювача та зшиваючого агента DICU забезпечує отримання значень відшарування покриття до 4,78 мм та розширення корозії металу до 1,99 мм при дії сольового туману протягом 720 годин, що є суттєво нижчими показниками порівняно із рідкою алкідною системою (рис. 3.9., рис. 3.10). Ступінь ржавіння досліджуваної системи відповідає класу Ri1, що відповідає площі ржавіння 0,05 %. Категорія корозійної стійкості порошкових епоксидних модельних систем відповідає класу **C3 (середній)** при забезпеченні високого класу довговічності (H) від 15 до 25 років. Так, як дана система покриттів чутлива до ультрафіолетових променів, прикладами типового середовища (всередині приміщень) де можуть

експлуатуватись покриття є хімічні заводи, внутрішні плавальні басейни (згідно ДСТУ ISO 12944-2:2019).

Використання поліефірних порошкових системи сприяє суттєвому зменшенню відшарування покриття, ступеня ржавіння та ширини корозії металу порівняно з рідкою системою. Однак в порівнянні з порошковою епоксидною системою ефективність їх дії залежить від показника кислотного числа плівкоутворюючого компонента, а також типу зшиваючого агента. Так, використання систем на основі поліефірного плівкоутворювача у вигляді Crylcoat E04484 (39 мг КОН/г) та зшиваючого агента TGIC забезпечує отримання показника ширини відшарування покриття на рівні 3,72 мм та розширення корозії металу до 1,4 мм при дії сольового туману протягом 720 годин, що є нижчими показниками порівняно з порошковим контрольним складом. Ступінь ржавіння досліджуваної системи відповідає класу Ri1, що відповідає площі ржавіння 0,05 %. Категорія корозійної стійкості відповідає класу **C4 (висока)** при забезпеченні високого класу довговічності (H) від 15 до 25 років. Прикладами типового середовища (згідно ДСТУ ISO 12944-2:2019) де можуть експлуатуватись отримані покриття є промислові райони та прибережні райони з помірною солоністю. Основним недоліком використання вказаної системи є забезпечення низьких фізико-механічних властивостей покриття (згідно розділу 3.1).

Слід зазначити, що використання поліефірної системи на основі плівкоутворювача у вигляді Crylcoat 2441-3 (34 мг КОН/г) призводить до підвищення відшарування покриття (4,63 мм) та розширення ширини корозії металу (1,68 мм), що на 29,7 % та 19,6 %, більше порівняно з системою на основі Crylcoat E04484. Це пов'язано зі зменшенням кислотного числа плівкоутворювача, що в свою чергу призводить до зниження корозійної стійкості покриття. Ступінь ржавіння досліджуваної модельної системи відповідає класу Ri1, що відповідає площі ржавіння 0,05 %. Категорія корозійної стійкості відповідає класу **C3 (середній)** при забезпеченні високого класу довговічності (H) від 15 до 25 років. Прикладами типового середовища (згідно ДСТУ ISO 12944-

2:2019) де можуть експлуатуватись отримані покриття є міська та промислова атмосфера, помірне забруднення діоксидом сірки, прибережні райони з низькою солоністю.

Використанням поліефірного плівкоутворювача у вигляді КНУА ЕР-2105, що характеризується нижчим кислотним числом (30 мг КОН/г) порівняно з вищевказаними плівкоутворювачами, призводить до збільшення відшарування покриття до 5,61 мм та розширення ширини корозії металу до 1,95 мм, що підтверджує вплив кислотного числа на корозійну стійкість покриття. Ступінь ржавіння досліджуваної системи відповідає класу Rі1, що відповідає площі ржавіння 0,05 %. Категорія корозійної стійкості відповідає класу **С3 (середній)** при забезпеченні середнього класу довговічності (М) від 7 до 15 років.

Аналогічна закономірність спостерігається і при використанні систем на основі поліефірних смол та зшиваючого агента НАА – зменшення кислотного числа плівкоутворювача призводить до зниження корозійної стійкості покриття (рис. 3.9., рис. 3.10). Так, використання систем на основі поліефірного плівкоутворювача у вигляді Crylcoat 2618-3 (35 мг КОН/г) забезпечує отримання показника ширини відшарування покриття на рівні 4,57 мм та розширення корозії металу до 1,72 мм при дії сольового туману протягом 720 годин. Ступінь ржавіння досліджуваної системи відповідає класу Rі1, що відповідає площі ржавіння 0,05 %. Категорія корозійної стійкості відповідає класу **С3 (середній)** при забезпеченні високого класу довговічності (Н) від 15 до 25 років. Однак, використання поліефірної системи на основі плівкоутворювача у вигляді ЕР-3126 із меншим кислотним числом (28 мг КОН/г) призводить до підвищення відшарування покриття (6,57 мм) та розширення ширини корозії металу (2,13 мм), що на 35,3 % та 24,1 %, відповідно, більше порівняно з системою на основі Crylcoat 2618-3. Категорія корозійної стійкості відповідає класу **С3 (середній)** при забезпеченні середнього класу довговічності (М) від 7 до 15 років.

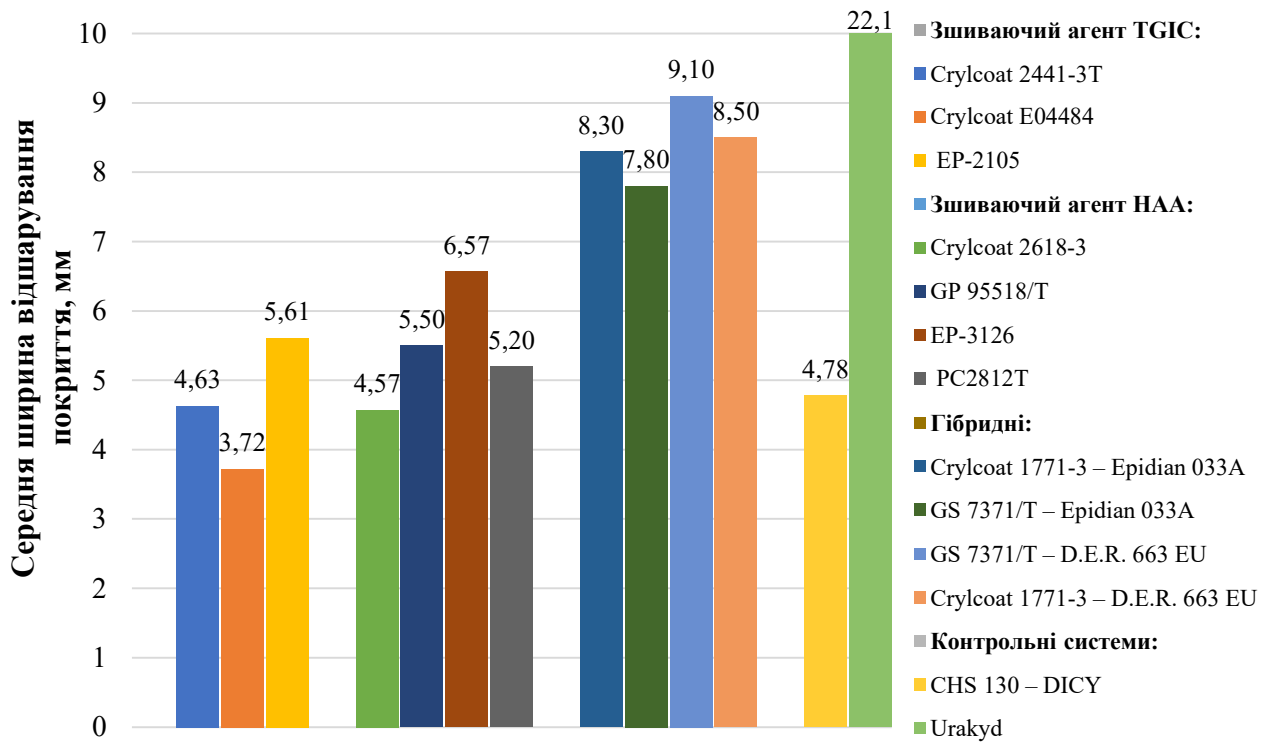


Рис. 3.9 Середня ширина відшарування покриття на основі досліджуваних систем (згідно табл. 3.1.) при дії сольового туману протягом 720 год.

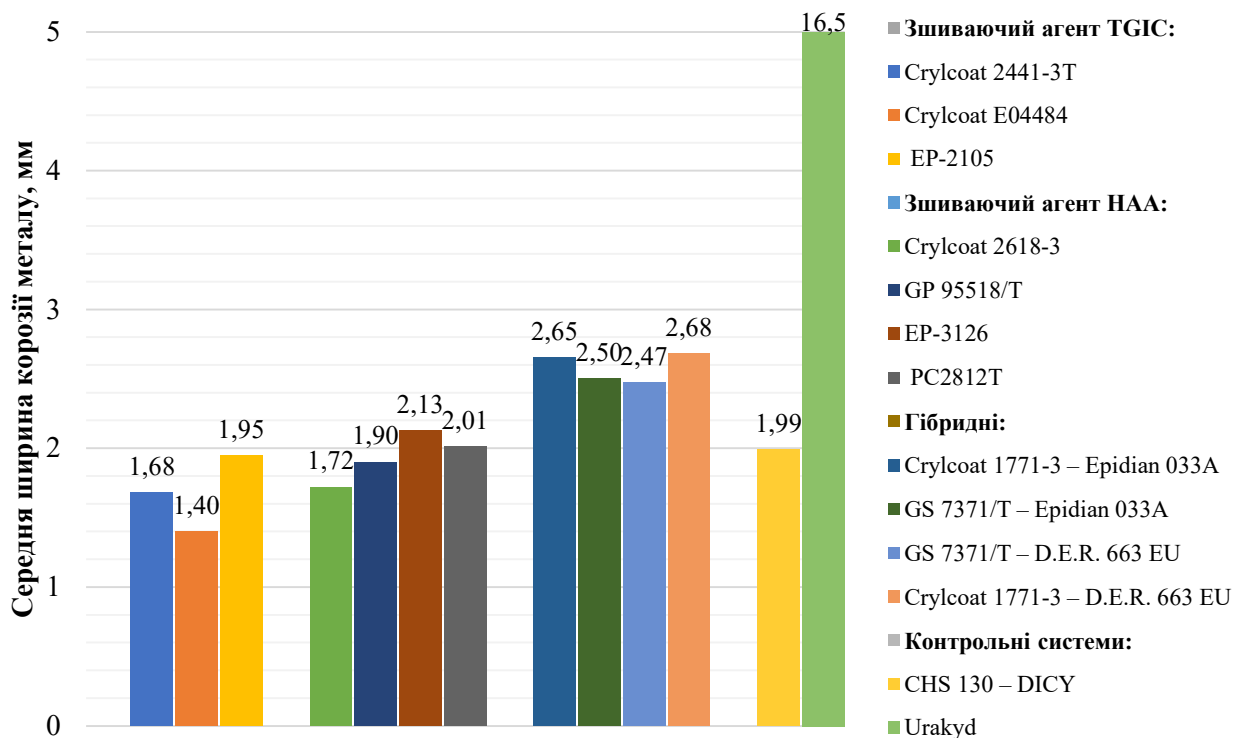


Рис. 3.10. Середня ширина корозії металу при використанні досліджуваних систем (згідно табл. 3.1) при дії сольового туману протягом 720 год.

Серед порошкових покриттів найнижчі результати корозійної стійкості демонструють системи на основі епоксидно-поліефірного плівкоутворювачів (рис. 3.9., рис. 3.10). Категорія корозійної стійкості досліджуваних систем відповідає класу **C2 (низький)** при забезпеченні класу довговічності (M) від 7 до 15 років. Прикладами типового середовища (згідно ДСТУ ISO 12944-2:2019) де можуть експлуатуватись отримані покриття є атмосфери з низьким рівнем забруднення: переважно сільські райони.

Аналіз результатів досліджень (табл. 3.3) свідчать про те, що згідно класифікації категорій корозійної стійкості використання поліефірних плівкоутворювачів із числом кислотності 34...39 забезпечують отримання вищої корозійної стійкості покриття порівняно з традиційними системами на основі рідкої акрилової смоли та порошкової епоксидної смоли, що, в свою чергу дає підставу розглядати такі системи як альтернативу антикорозійному захисту будівельних металевих виробів та конструкцій. Так, традиційне рідке антикорозійне покриття на основі алкідної смоли відповідає класу категорії корозійної стійкості **C1** та низькому класу довговічності (L) до 7 років, в той час як традиційне порошкове антикорозійне покриття на основі епоксидної смоли відповідає класу категорії корозійної стійкості **C3** та класу довговічності (H) від 15 до 25 років. Використання поліефірних порошкових систем відповідає класу категорії корозійної стійкості **C3...4** та класу довговічності (H) від 15 до 25 років.

Таблиця 3.3.

Класифікацію досліджуваних систем до категорій атмосферної корозійної агресивності

Найменування	Корозійна категорія у відповідності до ДСТУ ISO 12944-2	ДСТУ ISO 9227 (нейтральний сольовий туман)	Довговічність у відповідності до ДСТУ ISO 12944-1	Корозія від надрізу після сольового тесту, мм	Ступінь іржавіння ДСТУ ISO 4628-3
Поліефірні системи (TGIC)					
Crylcoat 2441-3T	C3	480	Висока	1,68	Ri1
Crylcoat E04484	C4	720	Висока	1,4	Ri1
KNUA EP-2105	C2	240	Середня	1,95	Ri1

<i>Продовження таблиці 3.3</i>					
Поліефірні системи (НАА)					
Ciech GP 9518/T	C2	240	Висока	1,9	Ri1
Crylcoat 2618-3	C3	480	Висока	1,72	Ri1
KNUA EP-3126	C3	120	Низька	2,13	Ri1
Alymers PC2812T	C2	240	Висока	2,01	Ri1
Епоксидно-поліефірні системи (Гібридні)					
Crylcoat 1771-3 - Epidian 033A	C2	120	Середня	2,65	Ri1
GS 7371/T - Epidian 033A	C2	120	Середня	2,5	Ri1
GS 7371/T - D.E.R.663 EU	C2	120	Середня	2,47	Ri1
Crylcoat 1771-3 - D.E.R.663 EU	C2	120	Середня	2,68	Ri1
Порошкова епоксидна система (Контрольний склад)					
CHS 130 - DICY	C4	720	Висока	1,99	Ri1
Рідка алкідна система (Контрольний склад)					
Urakyd	C1	48	Низька	16,5	Ri5

3.1.4. Електро-фізико-хімічні процеси в системі «покриття – метал»

Для пояснення причин високих показників властивостей наведених досліджених систем та розкриття електро-фізико-хімічних процесів в системі «метал – покриття» виконано аналіз електрохімічної поведінки зразків при зануренні в розчин електроліту за допомогою електрохімічної імпедансної спектроскопії (EIS), а також аналіз морфології поверхні за допомогою скануючого електронного мікроскопу (SEM).

Важливим фактором, який визначає сукупність фізико-механічних та експлуатаційних властивостей систем покриттів, в тому числі і електропровідності до електролітів, є їх структура. При цьому електропровідність покриттів залежить як від молекулярної, так і від просторової структури систем полімерів. Використання EIS є одним із ефективних методів

визначення структури і електрофізичних характеристик досліджуваних систем покриттів, що сприяє прогнозуванню корозійної стійкості покриттів. При цьому даним метод інформує про стан і властивості міжфазної поверхні полімер-метал.

Основна роль ЕІС полягає у наданні інформації про визначення початку та розвитку процесу корозії у розчинах електролітів [156]. На рис. 3.11 наведено еквівалентну схему, яка використовується для моделювання електрохімічної поведінки зразків при зануренні в розчин електроліту, шляхом перенесення електричного заряду в системі «метал – покриття» з подальшим визначенням електрохімічного імпедансу покриття, де R_s являє собою опір розчину, R_p – опір пор покриття, C_c – ємність опору покриття, R_{ct} – опір передачі заряду та C_{dl} – ємнісний опір.

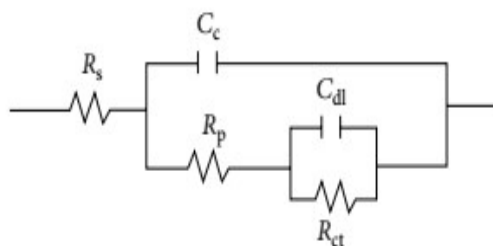


Рис. 3.11. Електрична еквівалентна схема, що використовується для моделювання електрохімічної поведінки зразків під час занурення у 5 % мас NaCl

Електрохімічний імпеданс – опір електрохімічної системи до змінного струму, що протікає через неї, якщо до системи прикладена змінна напруга, що змінюється по гармонійному закону і має амплітуду, та через яку йде струм.

Опір діелектриків, зокрема полімерних покриттів, зменшується зі збільшенням частоти прикладеного струму, що пов'язано зі зростанням діелектричних втрат внаслідок дипольної поляризації [157]. Отже, покриття, що має високі бар'єрні властивості, повинно зберігати істотну залежність активного опору від частоти. Електричний опір покриття також знижується під впливом сорбції полімерним шаром корозійного середовища та утворенням в ньому мікропор, а його частотна залежність стає менш вираженою. Після формування у покритті наскрізних дефектів його опір практично перестає залежати від

частоти струму і виміряне на приладі значення опору складається з опору корозійного середовища, опору електроліту в порах покриття та опору переносу заряду на поверхні металу в місцях дефектів.

В загальному, електрохімічний імпеданс щільної, бездефектної системи покриття на поверхні металу характеризується імпедансним ємнісним опором, який має вигляд похилої прямої згідно (рис. 3.12, а), де Z_d - дифузний імпеданс Варбурга (горизонтальна), Z – імпедансний ємнісний опір покриття (вертикальна) [157]. При подальшому впливі корозійного середовища на систему покриття, дефекти або низька його щільність створюють шляхи іонної провідності, які можуть проникати до металевої підкладки. Опір цих шляхів поступово знижується за рахунок деградації покриття, що в свою чергу призводить до зміни похилої прямої імпедансного ємнісного опору, наприклад: проникнення H_2O , катіонів та аніонів призводить до появи на графіку високочастотної дуги (рис.3.12, б); при утворенні катодних і анодних ділянок з'являється низькочастотна дуга (рис.3.12, в); при протіканні електрохімічних реакцій з'являється пряма ділянка з кутом нахилу 45° і т.д (рис.3.12, г).

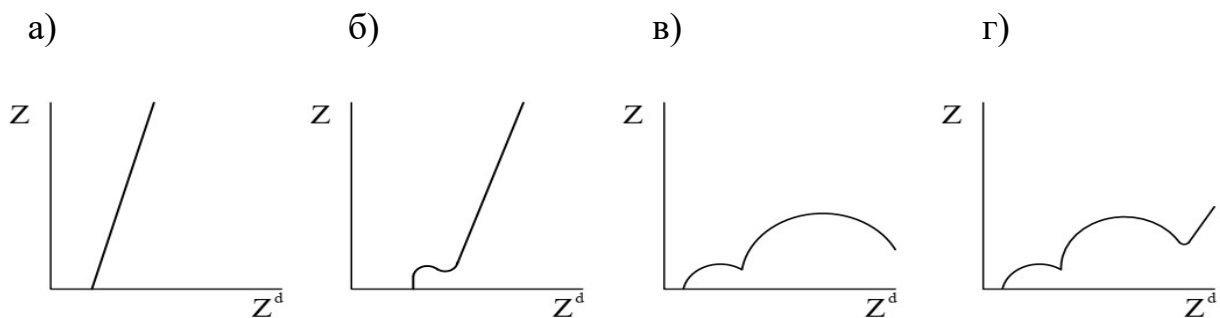


Рис. 3.12. Імпеданс системи покриття на різних стадіях деградації.

Вимірювання імпедансу досліджуваних систем порошкових покриттів проводилось при зануренні зразків в 5 % за мас. розчину NaCl протягом 1, 30, 60 і 90 днів згідно з методикою [156]. На рис. 3.13 представлено графіки, які відображають зміну імпедансного опору систем в різні періоди часу.

За результатами досліджень виявлено (рис. 3.13), що зі збільшенням часу перебування зразків в розчині NaCl, імпеданс досліджуваних систем покриття зменшується, що пов'язано з проникненням води та корозійних іонів через пори

покриття, а також збільшення їх провідності, що в свою чергу призводить до зниження корозійної стійкості покриття [159]. При цьому імпеданс досліджуваних систем покриття змінюється залежно від виду плівкоутворювача, та типу зшиваючого агента. Так, використання системи на основі поліефірного плівкоутворювача у вигляді Crylcoat 2618-3 та зшиваючого агента НАА, забезпечує, одні з найбільших значень імпедансного опору покриття серед досліджуваних систем, що підтверджує їх найвищу корозійну стійкість. В свою чергу використання контрольної порошкової системи на основі епоксидного плівкоутворювача призводить до появи на графіку високочастотної дуги (рис. 3.13, б) вже після 60 діб витримування, що обумовлено проникненню розчину електроліту в порах покриття, зменшенню значень імпедансу та, відповідно, зниженню корозійної стійкості покриття.

Використання системи «поліефірно-епоксидний плівкоутворювач» також призводить до суттєвого зменшення значень імпедансного опору порівняно із поліефірної та епоксидною системами, що обумовлено високою пористістю та швидким проникнення електроліту в покриття. Дифузія електроліту і корозійних іонів в покриття є передумовою для початку корозії підкладки (рис. 3.13). З плином часу дифузія електроліту в покриття збільшується, що в кінцевому підсумку призводить до руйнування захисного покриття.

Слід зазначити, що найбільше зниження імпедансу покриття спостерігається при використанні традиційної рідкої антикорозійної системи. В процесі випробувань на графіку з'являються високочастотна і низькочастотна дуги, обумовлені високою провідністю в порах покриття і електрохімічною реакцією під покриттям (рис. 3.13), що в свою чергу призведе до суттєвого зниження корозійної стійкості покриття. Тому збільшення кількості пор і шляхів проникнення електроліту в системі покриття призводить до пришвидшення перенесення корозійних іонів, що, у свою чергу, призводить до зниження імпедансу покриття та, відповідно, зниження корозійної стійкості в системі «метал – покриття».

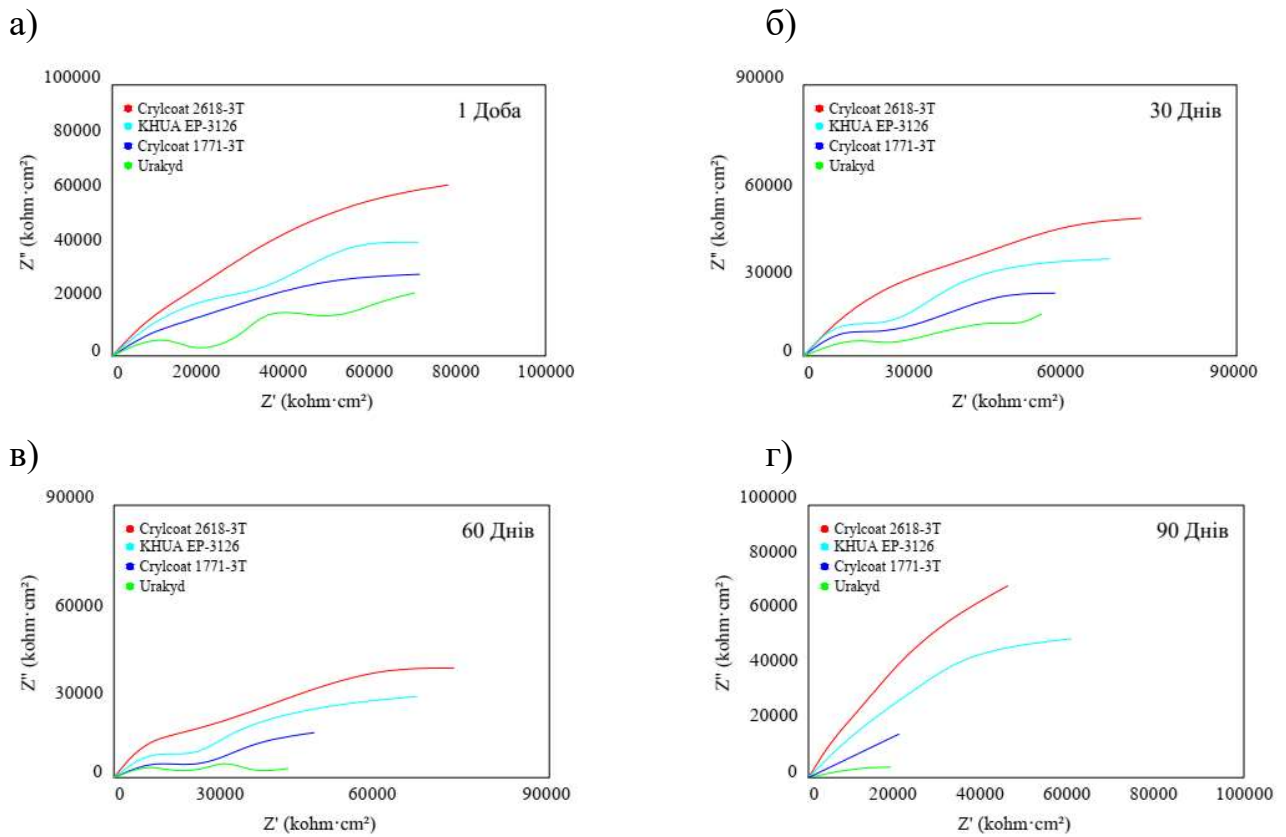


Рис. 3.13. Зміна імпедансного опору досліджуваних систем протягом, діб:
а) 1; б) 30; в) 60; г) 90.

Пояснення корозійної стійкості зразків досліджуваних систем покриттів оцінювали також за допомогою R_p , який представляє опір пор покриття до проходження електроліту [160...162]. Зниження значення R_p можна пояснити проникненням електроліту через пори та дефекти покриття. Значення R_p пропорційне глибині пор і обернено пропорційне пористості покриття. Параметри вимірювання ЕІС наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4.

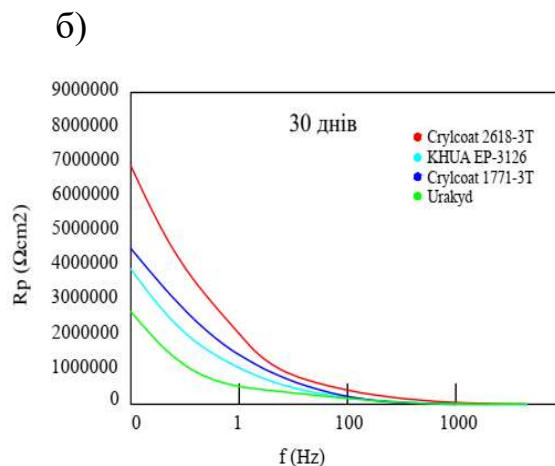
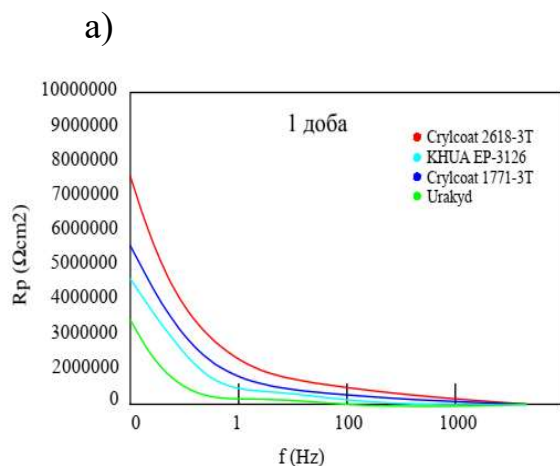
Параметри вимірювання ЕІС досліджуваних систем покриття

Найменування	Тривалість випробування, діб	R_p (Ωcm^2)	C_{edl} (F/cm ²)	R_{ct} (Ωcm^2)
Crylocoat 2618-3 -НАА	1	7506000	9.1 E-7	8.0 E7
	30	6950000	8.7 E-7	7.8 E7
	60	3575000	6.6 E-7	6.1 E7
	90	2933000	7.3 E-7	5.2 E7

<i>Продовження таблиці 3.4</i>				
Crylcoat 1771 – Epidian 033A	1	4210000	5.7 E-7	6,1 E7
	30	3972000	5.1 E-7	5,9 E7
	60	2134000	4.0 E-7	4.3 E7
	90	375000	3.9 E-6	2.0 E7
Порошкова епоксидна система (контрольний склад)	1	5508000	6.2 E-7	6.8 E7
	30	4404000	5.6 E-7	6.2 E7
	60	2283000	4.4 E-7	4.8 E7
	90	186000	4.0 E-6	2.3 E7
Рідка алкідна система (контрольний склад)	1	3450000	4.8 E-7	3.2 E7
	30	2623000	4.2 E-7	2.7 E7
	60	1451000	3.7 E-7	2.1 E7
	90	41000	3.2 E-6	0.8 E7

В загальному, значення опору пор систем покриття (R_p) і опору переносу заряду R_{ct} є показниками бар'єрних і пасивуючих властивостей досліджуваних систем. Чим вище ці значення, тим система покриття надійніше захищає метал від корозії.

На рисунку 3.14. показано зміну значень опору пор систем покриття до проходження електроліту. Виявлено, що в перші години випробувань спостерігається різке зниження R_p систем покриттів за рахунок заповнення об'єму пор електролітом, потім R_p стабілізується і знижується повільно за рахунок поступової деградації покриття.



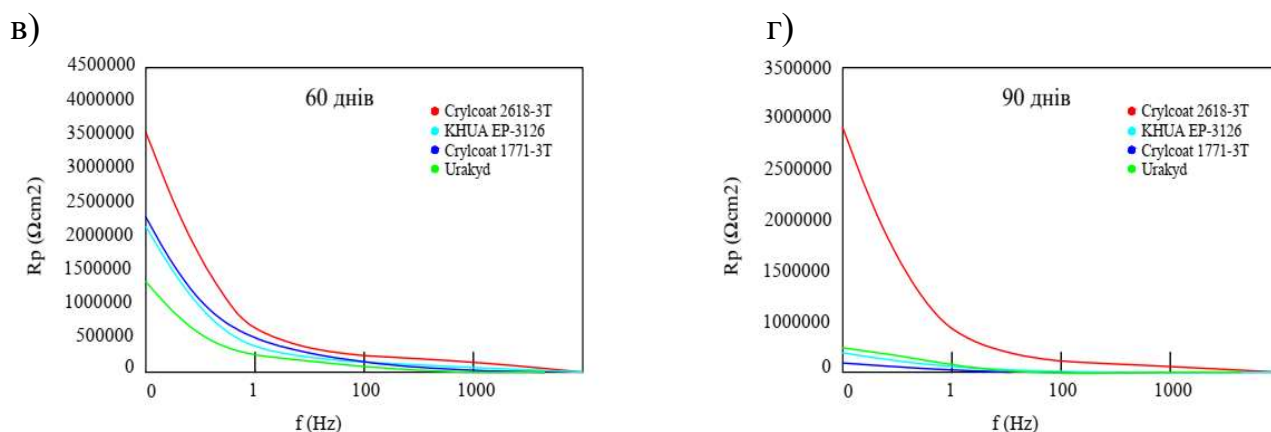


Рис. 3.14. Опір пор досліджуваних систем покриттів при зануренні в електроліт протягом, діб а) 1; б) 30; в) 60; г) 90.

В загальному, опір пор системи з використанням поліефірного плівкоутворювача та зшиваючого агента у вигляді НАА при зануренні в електроліт є вищим в порівнянні з контрольними системами на основі алкідного та епоксидного плівкоутворювачів, що характеризує високі бар'єрні властивості поліефірної системи покриття та, відповідно, забезпечує її високу корозійну стійкість. Величина опору пор поліефірної системи покриття є приблизно в 3...10 разів вище у порівнянні контрольними системами.

Таким чином за результатами досліджень встановлено, що система покриття з використанням поліефірного плівкоутворювача та зшиваючого агента у вигляді НАА забезпечує, одні з найбільших значень імпедансного опору, а також опору пор системи покриття до проходження електроліту серед досліджуваних систем, що зумовлено більш щільною структурою покриття порівняно із контрольними системами та зниженням швидкості проникнення електроліту в системі «метал – покриття», та відповідно сприяє отриманню високої корозійної стійкості матеріалу.

Результати досліджень електрохімічної імпедансної спектроскопії підтверджуються морфологією поверхні зразків (рис. 3.15, рис. 3.16). На рис. 3.15. наведено мікрофотографії поперечного перерізу досліджуваних систем покриттів. Товщина нанесеного покриття становить близько 100 ± 10 мкм, що підтверджується мікрофотографіями поперечного перерізу.

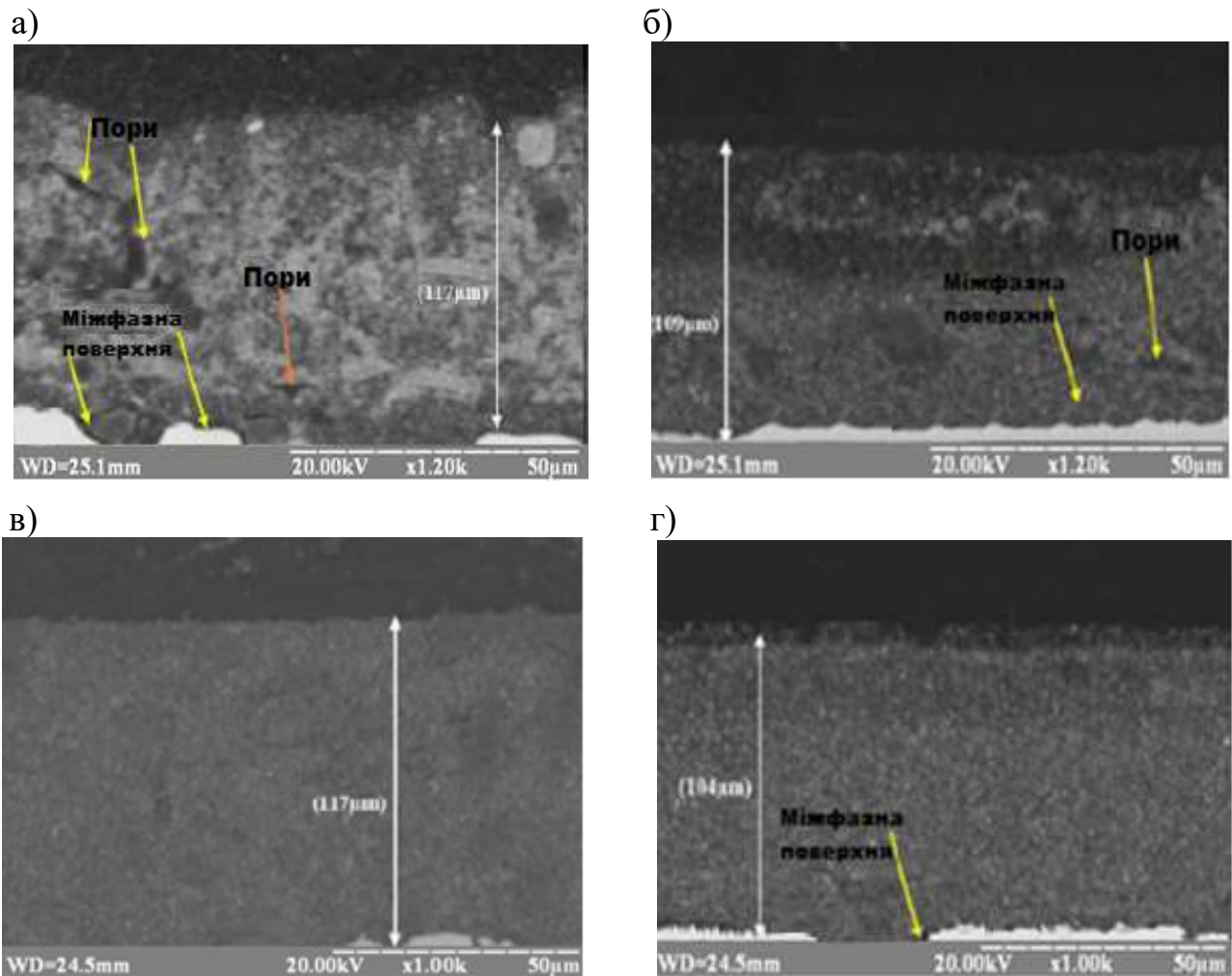


Рис. 3.15. Мікрофотографія поперечного перерізу досліджуваних зразків в системі «метал – покриття»: а) рідка алкідна система; б) поліефірно-епоксидний плівкоутворювачі (Crylcoat 1771 – Eridian 033A); в) поліефірний плівкоутворювач (Crylcoat 2618-3) – НАА; г) порошкова епоксидна система.

За результатами досліджень виявлено, що в структурі рідкої алкідної системи спостерігаються явні тріщини і дефекти (рис. 3.15, а), що в свою чергу впливає на отримання низьких показників імпедансного опору та відповідно, знижує захисні властивості матеріалу. На противагу до рідкої системи, в структурі порошкової системи покриття на основі «поліефірно-епоксидного плівкоутворювачів» спостерігається суттєве зменшення пористості та відсутні явні тріщини, що, відповідно, сприяє підвищенню захисних властивостей матеріалу. Крім того, межа розділу «покриття – метал» в порошкових системах

характеризується вищою якістю порівняно з рідким покриттям (рис. 3.15), що може бути пов'язано з високим рівнем зшивання плівкоутворювачів під час затвердіння і заповненням вільних просторів на межі поділу [155].

Найбільшою щільністю характеризується система на основі «поліефірний плівкоутворювач (Crylcoat 2618-3) – НАА», структура є однорідною та щільною, в якій відсутні явні пори, тріщини і дефекти (рис. 3.15, в), що сприяє отриманню високих показників імпедансного опору та, відповідно, забезпечує високу корозійну стійкість покриття. В той же час, використання контрольного складу на основі епоксидного плівкоутворювача призводить до збільшення пористості покриття порівняно з поліефірною системою (рис. 3.15, г), що, призводить до зниження показників імпедансного опору та, відповідно, погіршує захисні властивості матеріалу.

Мікрофотографії поверхні досліджуваних систем покриттів наведено на рис. 3.16. Як показано (рис. 3.16, а), на поверхні алкідної системи покриття спостерігається велика кількість пор із середнім розміром 1,2 мкм, що призводить до отримання низького опору пор систем покриття до проходження електроліту та, відповідно, погіршує його захисні властивості. В той же час, при використанні порошкових систем, рівень пор покриття суттєво знижується. Так, система покриття на основі «поліефірно-епоксидного плівкоутворювачів» характеризується наявністю пор із середнім розміром 0,8 мкм, що є нижчим показником порівняно із алкідною системою та, відповідно, сприяє підвищенню опору пор систем покриття до проходження електроліту із підвищенням захисних властивостей матеріалу. Найбільшою щільністю поверхні характеризується система «поліефірний плівкоутворювач (Crylcoat 2618-3) – НАА», поверхня покриття є щільною та не має чітких пор або дефектів порівняно із контрольною системою на основі епоксидного плівкоутворювача (рис. 3.16., в), що сприяє отриманню високого опору пор систем покриття до проходження електроліту, та відповідно, забезпечує високу корозійну стійкість матеріалу.

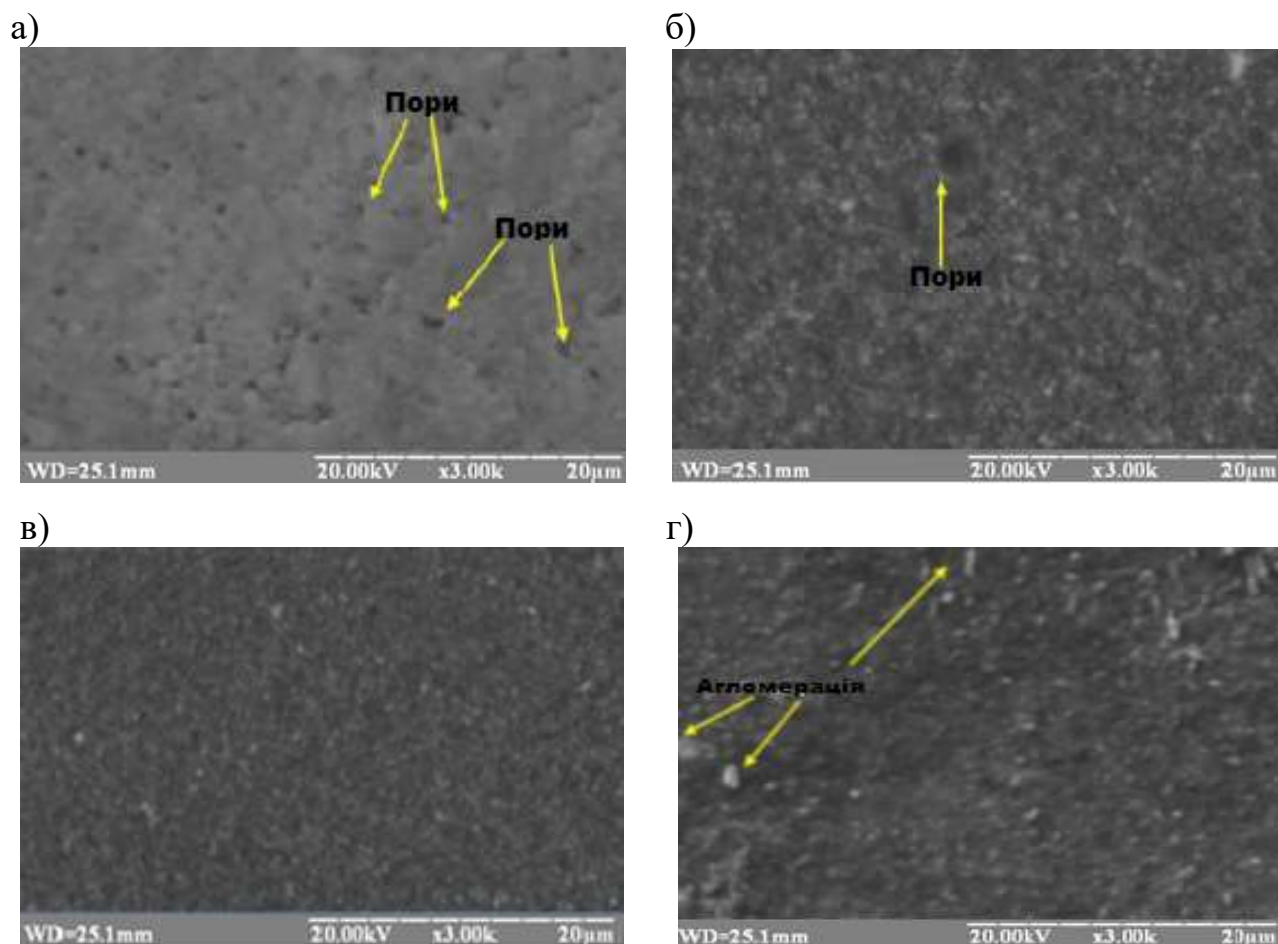


Рис. 3.16. Мікрофотографії поверхні та ЕРС досліджуваних систем: а) рідка алкідна система; б) поліефірно-епоксидний плівкоутворювачі (Crylcoat 1771 – Eridian 033A) ;в) поліефірний плівкоутворювач (Crylcoat 2618-3) – НАА; г) порошкова епоксидна система.

3.2. Особливості формування структури і властивостей порошкових покриттів з використанням наповнювачів різної хімічної природи.

При створенні порошкових лакофарбових матеріалів для ефективного антикорозійного захисту будівельних металевих виробів і конструкцій необхідно враховувати характеристики не тільки самої полімерної матриці, але і наповнювачів. Існує велика різноманітність наповнювачів залежно від їх хімічної природи, форми, дисперсності, що викликає великий інтерес в дослідженні їх впливу на формування властивостей полімерних порошкових

систем. При цьому однією з найбільш перспективних груп наповнювачів, що можуть бути використані для ефективного наповнення порошкових систем є гідроксиди та силікати, які ефективно поєднують в собі переваги морфології, поверхневої активності, можливості реакційної здатності функціональних груп з термотвердіючими олігомерами, що дасть можливість підвищити антикорозійні властивості покриття. Особливо, це стосується силікатних наповнювачів Українського виробництва, так, як всі компоненти для виготовлення порошкової фарби імпортуються з-за кордону. Тому визначення ефективності використання різноманітних наповнювачів Українського виробництва в системах порошкових фарб та покриттів надає важливу інформацію щодо їх обрання при розширенні номенклатури продуктів, в тому числі призначених для влаштування антикорозійного покриття на металевих будівельних виробках і конструкціях.

3.2.1. Вплив наповнювачів на формування фізико-механічних властивостей порошкового покриття.

При проведенні досліджень в якості полімерної матриці використано систему «плівкоутворювач Cerylcoat 2618-3 – зшиваючий агент НАА», яка характеризується найкращими з обраних фізико-механічних та експлуатаційних характеристик (згідно розділу 3.1).

Для виявлення закономірностей впливу наповнювачів різної хімічної природи, форми та дисперсності на формування властивостей покриття обрано наступні: 1 – **солі** у вигляді *сульфату барію* ($BaSO_4$) та крейди ($CaCO_3$); 2 – **оксиди** у вигляді *мікрокремнезему №1* (SiO_2), *мікрокремнезему №2* (SiO_2), оксиду цинку (ZnO); 3 – **гідроксид** у вигляді *гідроксиду алюмінію* ($Al(OH)_3$); 4 – **силікати** у вигляді *метакаоліну* ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$), *воластоніту* ($CaO \cdot SiO_2 \cdot nH_2O$), *тальку* ($3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$). Загальна характеристика досліджуваних наповнювачів наведено в табл. 2.5. В якості контрольного складу було використано систему порошкового покриття, що вміщує сульфат барію, який є традиційним наповнювачем для отримання порошкового лакофарбового матеріалу.

Склад досліджуваних порошкових матеріалів залежно від хімічної природи наповнювач прийнято наступним: «Crylcoat 2618-3 – 57 %, НАА – 3 %, наповнювач – 40».

За результатами досліджень виявлено, що зміна хімічної природи, форми та дисперсності частинок (середнього розміру) наповнювача, а також його маслоємності в складі порошкової фарби по різному впливають на формування фізико-механічних властивостей покриття.

Показано, що використання *сульфату барію* в складі порошкової фарби (контрольний склад) сприяє отриманню високої міцності до зворотного удару на рівні 80 см/кг (рис. 3.17), міцності на згин, що відповідає діаметру згинального валу 8 мм (рис. 3.18), адгезії методом решітчастого надрізу, що відповідає класу Gt0 (рис. 3.20), та міцності на витягування на рівні 7.4 мм (рис. 3.19). При цьому блиск покриття становить 93 % (рис. 3.21).

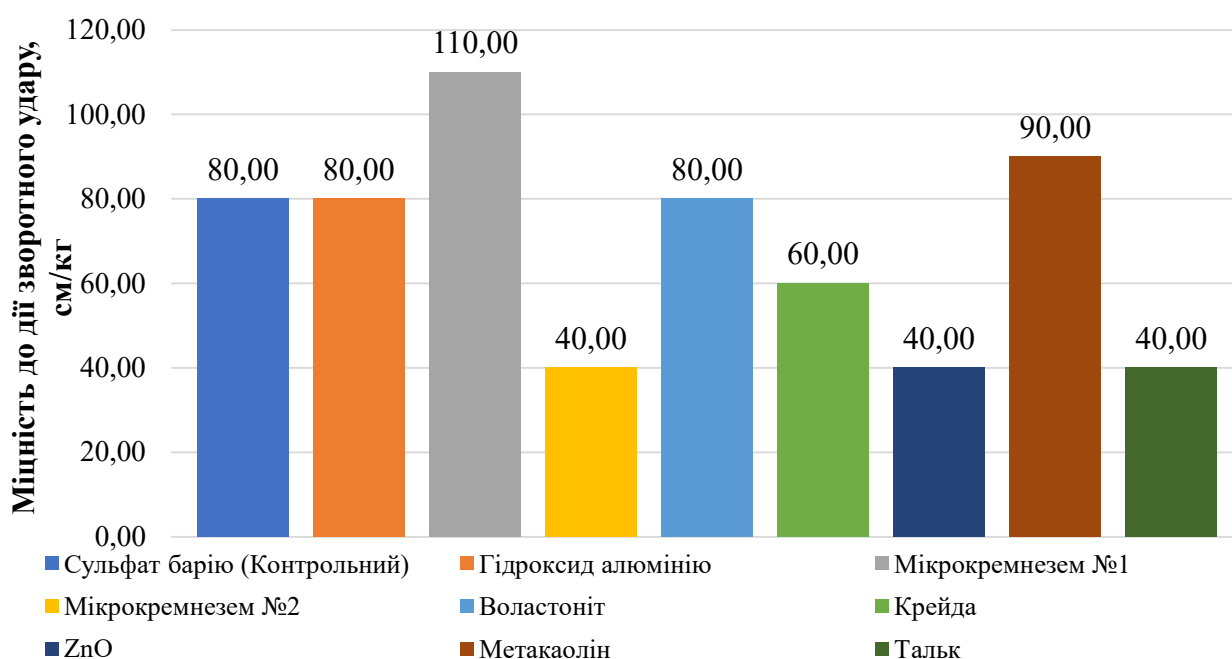


Рис 3.17. Міцність покриття до дії зворотного удару в залежності від типу наповнювача.

Використання наповнювача у вигляді *крейди* в складі порошкової фарби призводить до зниження міцності до дії зворотного удару та міцності на витягування покриття (рис.3.17, рис. 3.19) до 60 см/кг та 7 мм відповідно, порівняно з показниками контрольного складу (наповнювач у вигляді сульфату

барію): міцність зворотного удару – 80 см/кг, міцність на витягування – 7,4 мм. Це може бути пов'язано зі зменшенням дисперсності частин наповнювача крейди (згідно табл. 2.5) порівняно із сульфатом барію та погіршенням рівномірності дисперсії порошкової фарби, що визначає зниження міцності до дії зворотного удару та міцності на витягування покриття. Слід зазначити, що адгезія та міцність на згин покриття не змінюється порівняно з контрольним складом, що становить Gt_0 та 8 мм, відповідно (рис.3.20, рис. 3.18), а блиск покриття знижується на 20 % та становить 76 %. (рис. 3.21).

Використання оксидного наповнювача у вигляді ZnO для підвищення фізико-механічних властивостей порошкового покриття є неефективним. Так, введення ZnO до складу порошкової фарби призводить до зниження міцності до дії зворотного удару (40 см/кг) та міцності на згин, що відповідає діаметру згинального валу 12 мм (рис. 3.17, рис. 3.18). Адгезія покриття з використанням ZnO відповідає класу Gt_0 (рис 3.19). Слід зазначити, що використання ZnO в складі порошкової фарби сприяє зниженню міцності на витягування до 5.8 мм (рис. 3.19) та блиску покриття до 77 % (рис. 3.21).

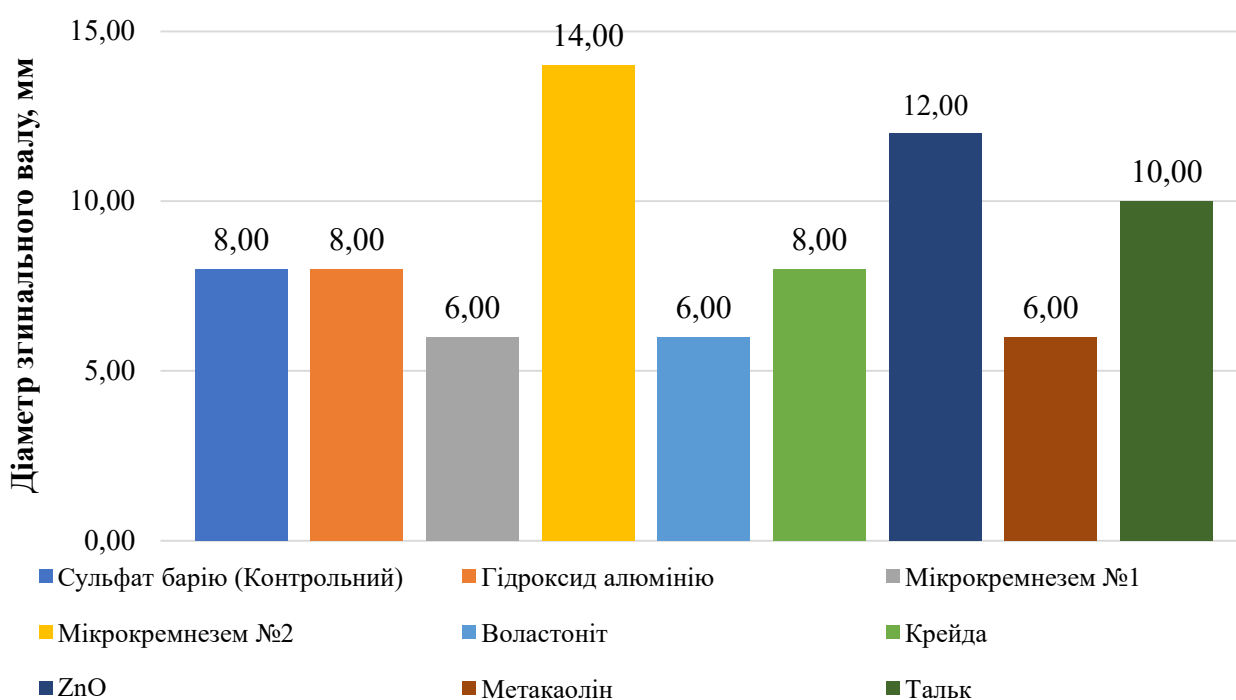


Рис 3.18. Міцність покриття на згин навколо циліндричного стрижня залежності від типу наповнювача.

На противагу до ZnO, використання оксидного наповнювача у вигляді *мікрокремнезему №1* для підвищення механічних властивостей порошкового покриття є ефективним. Так, при введенні мікрокремнезему № 1 спостерігається підвищення міцності до дії зворотного удару (110 см/кг) та міцності на згин 6 мм (рис. 3.17, рис. 3.18) покриття порівняно з контрольним складом. При цьому міцність на витягуванні покриття зростає та становить 9,25 мм, що на 25 % є вищим порівняно з контрольним складом. Це пояснюється збільшенням коефіцієнта ущільнення системи шляхом зміни форми частинок наповнювача з кубічної (ZnO) на сферичну (мікрокремнезем), що визначає підвищення механічних властивостей покриття. Адгезія покриття з використанням мікрокремнезему відповідає класу Gt0 (рис.3.20).

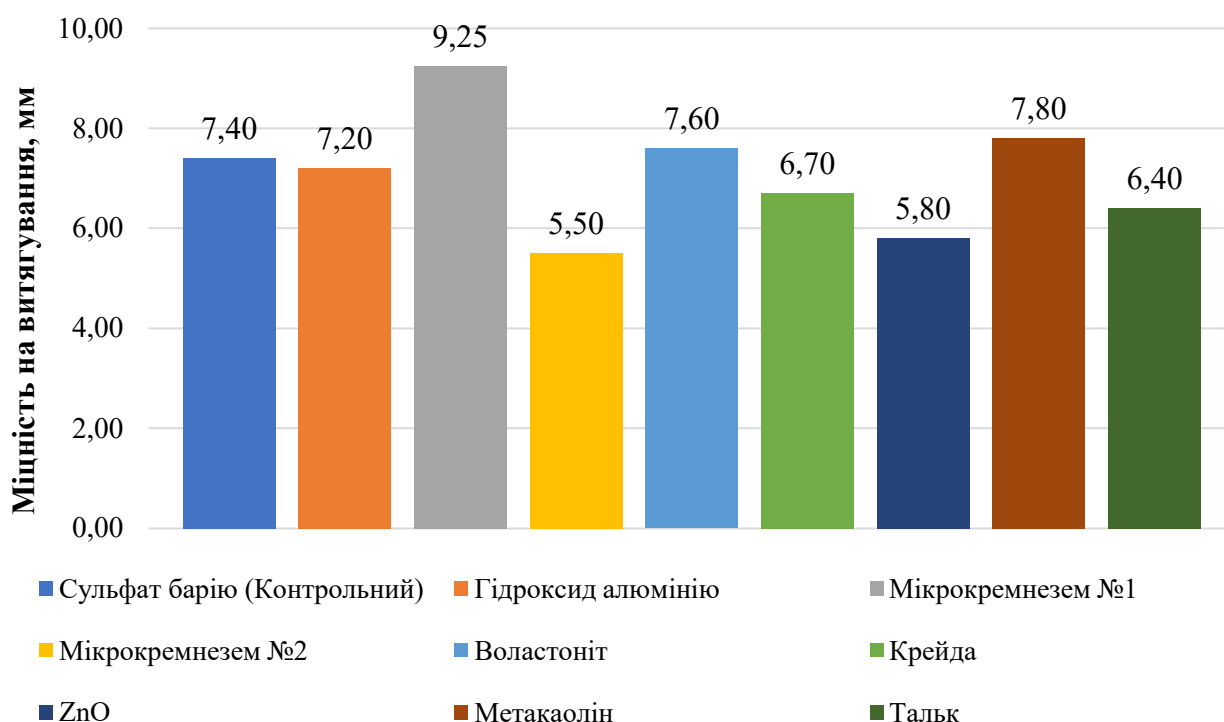


Рис 3.19. Міцність на витягування покриття в залежності від типу наповнювача.

Проте збільшення середнього розміру частин оксидного наповнювача (згідно табл. 2.5) з 2,92 мкм (мікрокремнезем № 1) до 15,2 мкм (мікрокремнезем № 2) призводить до зниження механічних властивостей покриття. Так, використання мікрокремнезему №2 сприяє зниженню міцності до дії зворотного удару (40 кг/см) та міцності на згин (14 мм) порівняно з контрольним складом (рис.

3.17, рис. 3.18). Це пов'язано зі зменшенням дисперсності частин мікрокремнезему № 2 та, відповідно, погіршенням рівномірності дисперсії порошкової фарби, що визначає зниження міцності до дії зворотного удару та міцності на згин покриття. Слід відмітити, що збільшення розміру частин наповнювача призводить також до зниження міцності на витягування до 5.5 мм (рис. 3.19) та зниження блиску покриття до 69 % (рис. 3.21).

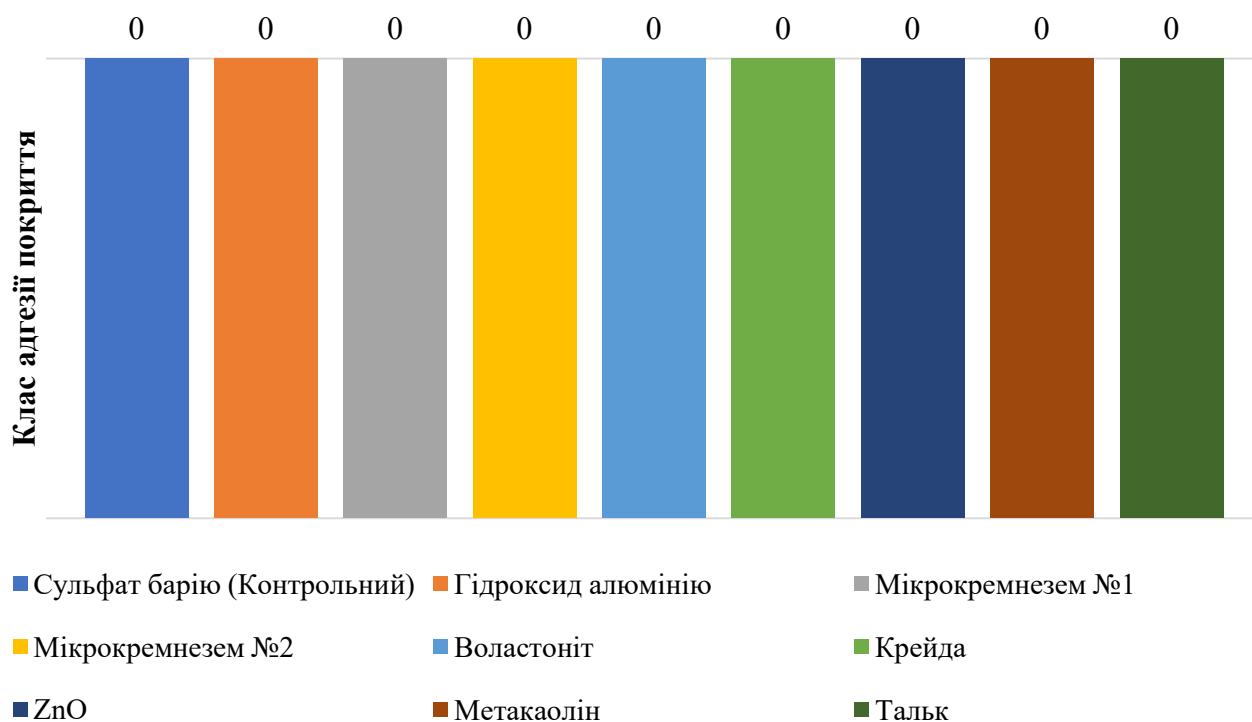


Рис 3.20. Адгезія порошкового покриття в залежності від типу наповнювача.

В той же час, використання силікатних наповнювачів для підвищення механічних властивостей порошкового покриття також є ефективним. Так, використання *метаксаоліну* сприяє підвищенню фізико-механічних властивостей покриття порівняно з контрольним складом, що проявляється у зростанні міцності до дії зворотного удару (90 см/кг) та міцності на згин, що відповідає діаметру згинального валу 6 мм (рис.3.17, рис.3.18), а також підвищує міцність на витягування до 7.8 мм (рис 3.19). Це пояснюється наявністю пластинчастої форми частинок наповнювача, що запобігає утворенню тріщин та сприяє

покращенню фізико-механічних властивостей покриття. Адгезія покриття з використанням метакаоліну відповідає класу Gt0 (рис.3.20).

Введення силікатного наповнювача у вигляді *воластоніту* сприяє отриманню міцності до дії зворотного удару, що відповідає контрольному складу та становить 80 см/кг (рис. 3.17). Адгезія покриття з використанням воластоніта відповідає класу Gt0 (рис.3.21). При цьому спостерігається підвищення міцності на згин та витягування покриття порівняно з контрольним складом, що відповідає діаметру згинального валу 6 мм та 7,6 мм, відповідно (рис.3.18, рис. 3.18). Це пояснюється зміною кристалічної форми наповнювача з кубічною (сульфат барію) на волокнисту, що сприяє підвищенню механічних властивостей покриття і запобігає зниженню внутрішніх напружень та утворенню тріщин, діючи як армуючий агент.

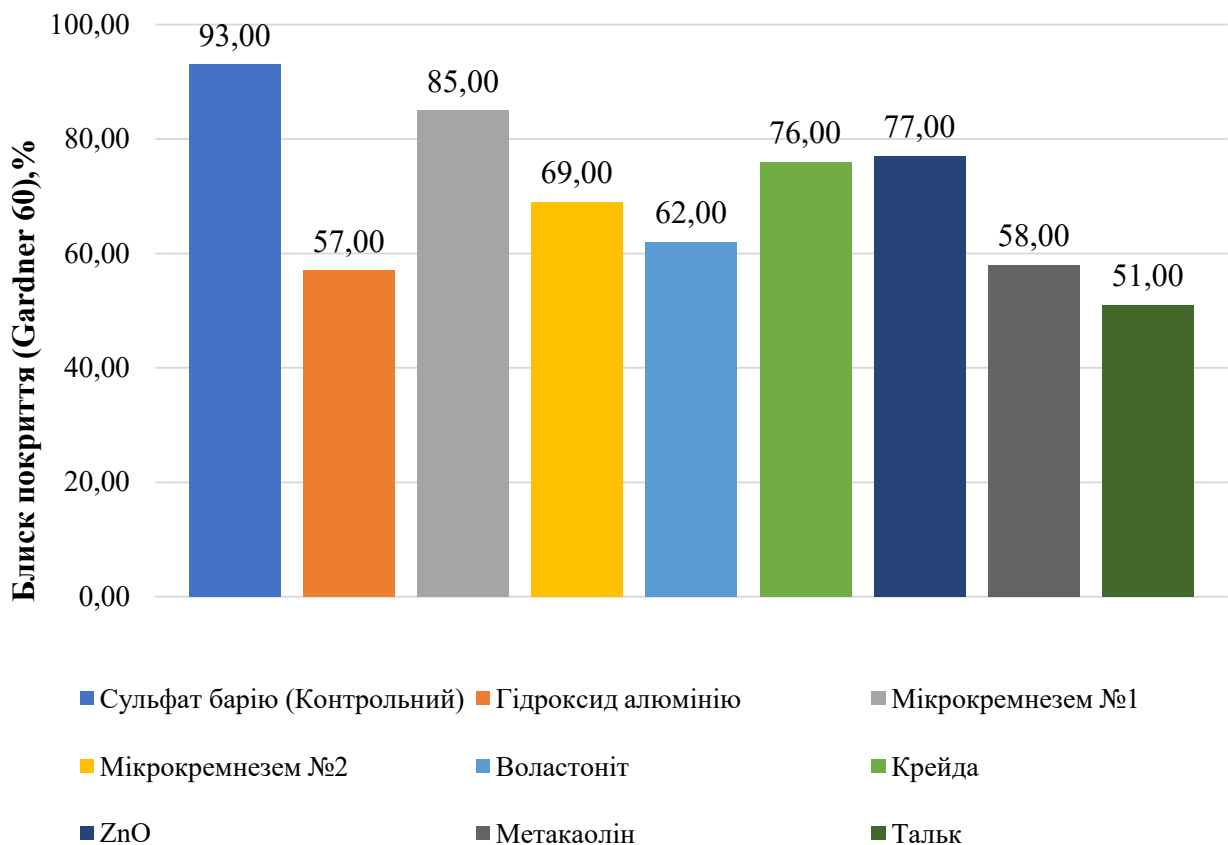


Рис 3.21. Рівень блиску покриття в залежності від типу наповнювача

Використання силікатного наповнювача у вигляді *тальку* яких характеризується пластинчастою формою частинок, призводить до зниження міцності на згин (10 мм) та міцність до дії зворотного удару (40 мм) покриття

порівняно з контрольним складом (рис. 3.18, рис. 3.17). Це може бути пов'язано зі збільшенням показника маслоємності в даному виді наповнювача (табл. 2.5) порівняно з сульфатом барію, що в свою чергу призводить до погіршення змочуваності поверхні наповнювача полімерною матрицею, та відповідно, зниженню механічних покриття. При цьому введення тальку призводить до погіршення оптичних характеристик покриття – зниження блиску з 93 % (контрольний склад) до 51 % (рис 3.21.). Це пояснюється зміною дифузійного відбиття світла шляхом зменшення дисперсності (збільшенням середнього розміру частин) тальку порівняно із сульфатом барію (табл. 2.2), що визначає зниження блиску покриття.

Використання гідроксидного наповнювача у вигляді ($\text{Al}(\text{OH})_3$) сприяє отриманню фізико-механічних властивостей покриття на рівні контрольного складу. Так, міцність до дії зворотного удару та міцність на згин покриття з використання гідроксиду алюмінію аналогічна міцності покриття з використанням сульфату барію, що становить (80 кг/см) та 8 мм відповідно (рис.3.17, рис.3.18). Адгезія покриття з використанням гідроксиду алюмінію відповідає класу Gt0 (рис.3.20).

Аналіз отриманих результатів досліджень свідчить про те, що використання досліджуваних наповнювачів Українського виробництва в складі порошкової фарби сприяє отриманню покриття з регульованими фізико-механічними характеристиками. Так, ефективність використання наповнювачів для підвищення фізико-механічних властивостей покриття змінюється залежно від форми та дисперсності частин наповнювача, а також їх маслоємності. Зміна форми частинок наповнювача з кубічною до сферичною сприяє отриманню більш щільної структури системи із підвищенням механічних властивостей покриття. При використанні наповнювачів пластинчастої та голчастої структури спостерігається підвищення міцності на згин та міцності на витягування покриття. За показниками міцності до дії зворотного удару покриття найбільш ефективним є використання мікрокремнезему з середнім розміром 2,92 мкм. Зі збільшенням середнього розміру частин наповнювача знижуються механічні

властивості покриття. Для підвищення міцності на згин покриття та міцності на витягування доцільним є використання наповнювачів у вигляді воластоніту та метакаоліну, які характеризуються голчастою та, відповідно, пластинчастою формою кристалів, що запобігають утворенню тріщин за рахунок зменшенню внутрішніх напружень в системі, діючи як армуючий агент.

3.2.2. Корозійна стійкість порошкового покриття з використанням різних типів наповнювачів.

Дослідження корозійної стійкості порошкового покриття з використанням різних типів наповнювачів виконано згідно до опису в розділі 3.1.2. Склади досліджуваних порошкових лакофарбових покриттів наведено в табл. 3.5.

Аналіз результатів досліджень свідчить про те, що розглянуті склади порошкового покриття з використанням різних типів наповнювачів характеризуються різною ефективністю впливу на корозійну стійкість отриманих покриттів.

Згідно результатів досліджень **втрати маси** зразків покриття при дії сольового туману виявлено, що найменшою втратою маси характеризуються склади порошкових покриттів в яких використано наповнювачі у вигляді силікатів (воластоніт, мікрокремнезем №1 та №2, метакаолін), які характеризуються втратою маси зразків в діапазоні від 0,14 % до 0,21 % при дії сольового туману протягом 720 годин (рис. 3.22). Для порівняння втрата маси контрольного складу зразка з використанням сульфату барію становить 0,22 %. Це може бути пов'язано із високою поверхневою активністю силікатних наповнювачів, на що вказують значення маслоємності та питомої поверхні цих матеріалів (табл.2.5.), що підвищує реакційну здатність наповнювача до полімеру та сприяє утворенню міцних міжчастинних взаємодій, які помітно підвищують фізико-механічні властивості матеріалу. Одну з найменших втрат маси зразка (0,14 %) при дії сольового туману протягом 720 год, демонструє склад порошкового покриття з використанням силікатного наповнювача у вигляді

метакаоліну, що підтверджує ефективність вказаної системи для захисту від корозії.

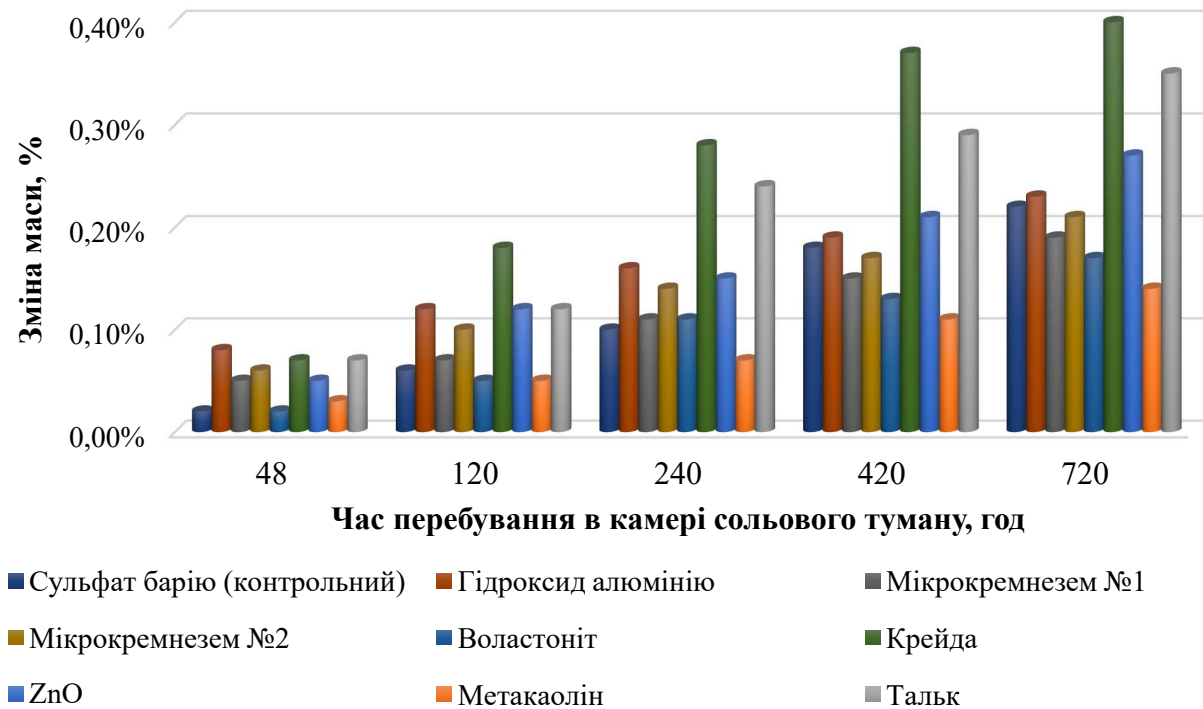


Рис. 3.22. Втрата маси зразків досліджуваних складів покриття з використанням різного типу наповнювачів при дії сольового туману протягом 720 годин.

Міцність до зворотного удару. Показано, що міцність до зворотного удару всіх досліджуваних складів покриття різко знижується при дії сольового туману протягом 720 годин (рис. 3.23). Найнижчі результати міцності до зворотного удару демонструють зразки покриттів з використанням наповнювача у вигляді ZnO та мікрокремнезему № 2, що свідчить про їх низьку стійкість до дії сольового туману. Вже через 120 годин дії сольового туману міцність до зворотного удару покриттів знижується на 100 %. Через 720 годин дії сольового туману спостерігається руйнування порошкового покриття.

Найменшим зниженням ударної міцності характеризуються зразки порошкового покриття з використанням мікрокремнезему №1 та сульфату барію (контрольний склад), що може бути пов'язано із високою дисперсністю вказаних наповнювачів та формою їх частинок (табл. 2.5), що сприяє збільшенню

коефіцієнта ущільнення системи та, відповідно, підвищенню міцності до дії зворотного удару.

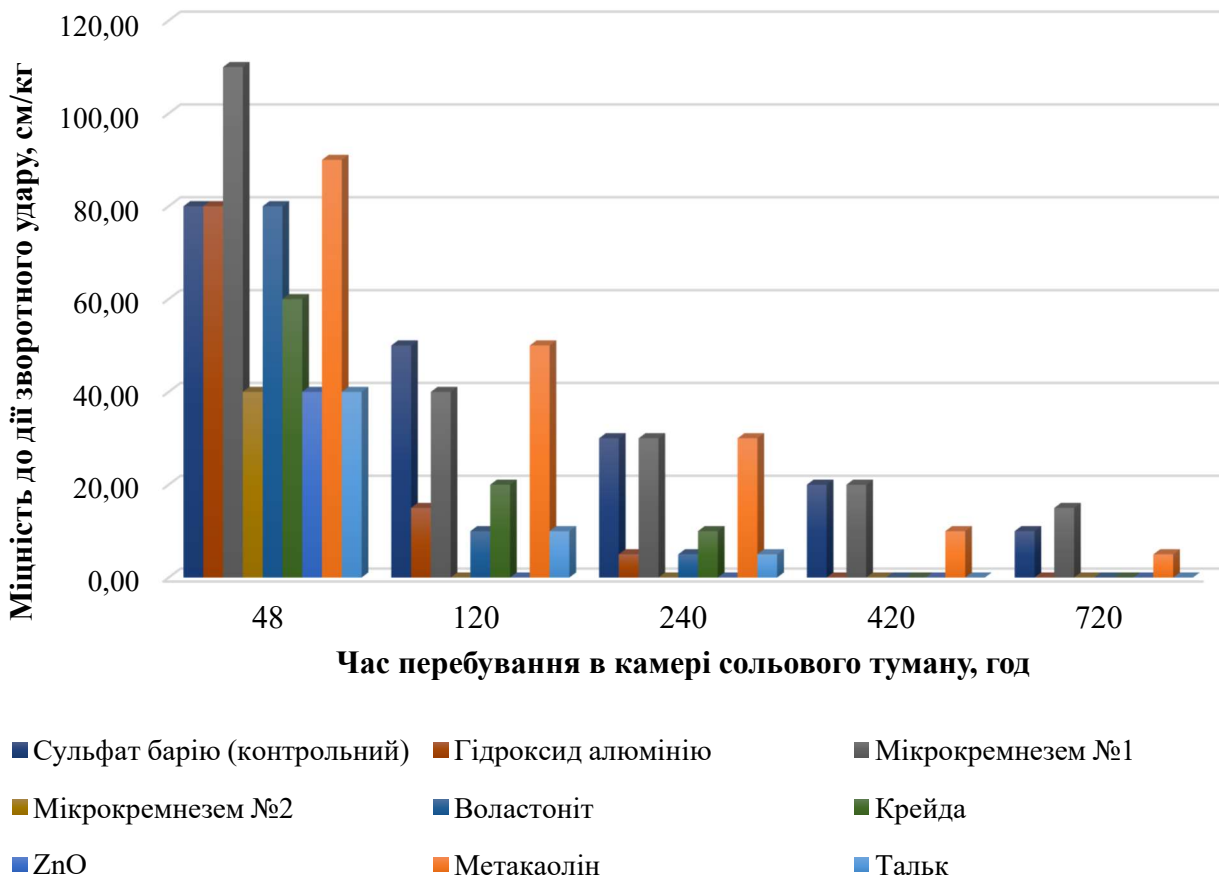


Рис 3.23. Міцність до дії зворотного удару зразків досліджуваних складів покриття з використанням різного типу наповнювачів при дії сольового туману протягом 720 годин.

Визначення ширини відшарування досліджуваних складів покриття з використанням різних типів наповнювачів та розширення корозії металу виконано згідно ДСТУ ISO 9227:2015. Класифікація досліджуваних складів покриття до категорій атмосферної корозійної агресивності виконано згідно ДСТУ ISO 12944-2, а також їх довговічність у відповідності до ДСТУ ISO 12944-1.

Показано, що використання *сульфату барію* в складі порошкової фарби (контрольний склад) протягом 720 годин витримки покриття в камері сольового туману призводить до відшарування покриття в 4,87 мм (рис. 3.24). При цьому середня ширина корозії металу становить 1,72 мм (рис. 3.25). Категорія

корозійної стійкості покриття відповідає класу **С3 (високий)** при забезпеченні високого класу довговічності (Н) від 15 до 25 років.

Використання наповнювача у вигляді *крейди* призводить до зниження корозійної стійкості порошкового покриття. Так, середня ширина відшарування покриття збільшується на 45 % і становить 6,15 мм. (рис. 3.24), а середня ширина розширення корозії металу збільшується на 59 % порівняно з контрольним складом (рис. 3.25). Категорія корозійної стійкості покриття відповідає класу **С2 (низький)** при забезпеченні високого класу довговічності (Н) від 15 до 25 років.

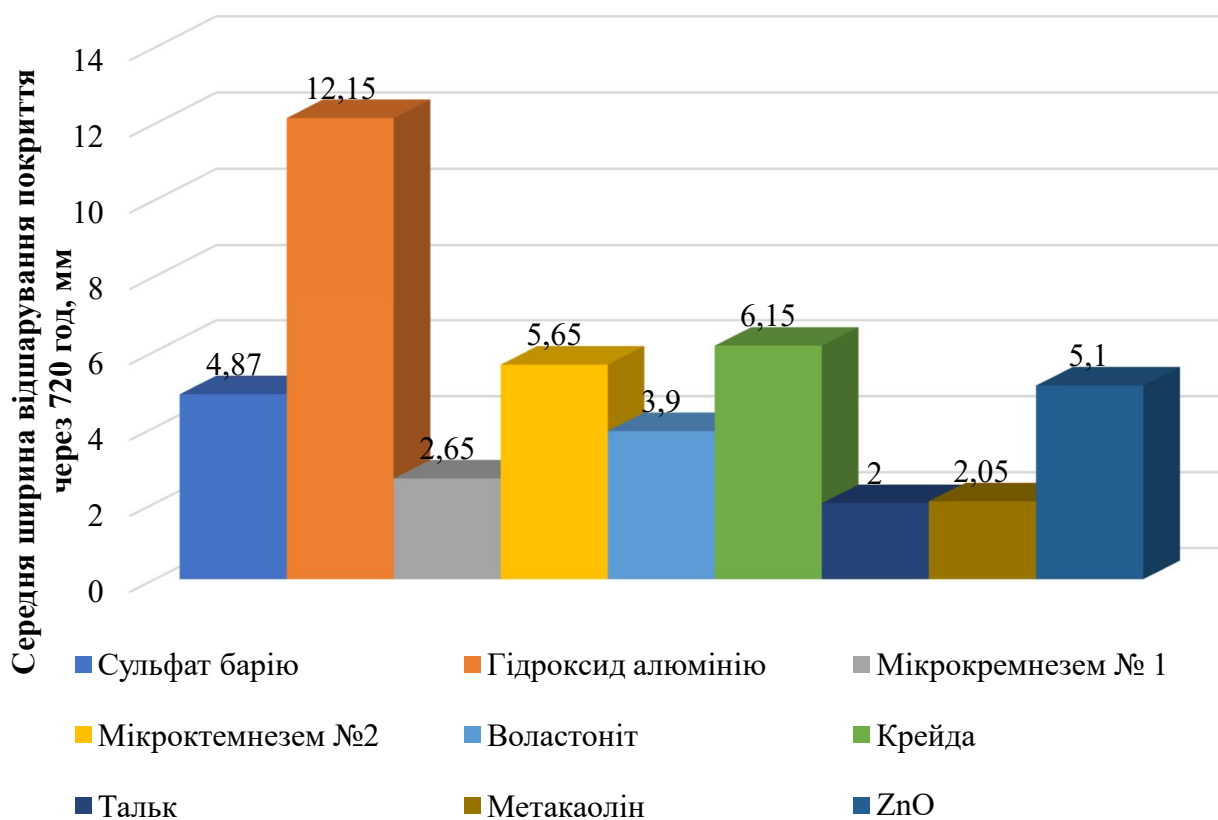


Рис. 3.24. Середня ширина відшарування досліджуваних складів покриття з використанням різного типу наповнювачів при дії сольового туману протягом 720 годин.

Використання наповнювача у вигляді *гідроксиду алюмінію* також сприяє зниженню корозійної стійкості покриття. Так, його використання призводить до зростання середнього відшарування покриття з 4,87 до 12,15 мм, що у 2,5 рази є вищим порівняно з контрольним складом (рис. 3.24). При цьому також зростає середня ширина корозії металу з 1,72 до 4,23 мм (рис. 3.25). Зниження корозійної

стійкості покриття з використання гідроксиду алюмінію пов'язано із зміною щільності отриманого покриття шляхом збільшення середнього розміру частинок наповнювача (зменшення дисперсності) порівняно із сульфатом барію (табл. 2.5). Корозійна категорія відповідає класу **C2 (низький)** при забезпеченні середнього класу довговічності (М) від 7 до 15 років.

В свою чергу використання силікатів для підвищення корозійної стійкості порошкового покриття є ефективним. Так, використання *метакаоліну* сприяє підвищенню корозійної стійкості покриття в порівнянні з контрольним складом: знижується середня ширина відшарування покриття на 50 %, що становить 2,05 мм (рис. 3.24), а також знижується середня ширина розширення корозії металу на 40 %, що становить 1,32 мм (рис. 3.25). Корозійна категорія відповідає класу **C4 (високий)** при забезпеченні високого класу довговічності (Н) від 15 до 25 років

Схожий результат демонструє використання в складі порошкової фарби оксидного наповнювача у вигляді *мікрокремнезему № 1*, що сприяє зниженню середньої ширини відшарування покриття до 2,65 мм та ширини розширення корозії металу до 1,65 мм порівняно з контрольним складом (рис. 3.24, рис. 3.25). Це може бути пояснено збільшенням коефіцієнта ущільнення системи шляхом зміни кристалічної форми наповнювача з кубічної на сферичну, підвищенням дисперсності наповнювача та зміною їх хімічної природи, що визначає підвищення корозійної стійкості покриття. Корозійна категорія відповідає класу **C3 (середній)** при забезпеченні високого класу довговічності (Н) від 15 до 25 років

Слід зазначити, що використання в якості наповнювача *мікрокремнезему № 2* призводить до зростання середньої ширини відшарування покриття (з 4,87 до 5,65 мм) та середньої ширини розширення корозії (з 1,72 до 2,24 мм), що на 15 % та 30 %, відповідно, більше порівняно з контрольним складом (рис. 3.24, рис. 3.25). Це пояснюється зміною щільності отриманого покриття шляхом зменшення дисперсності наповнювача (збільшення середнього розміру частинок наповнювача до 15 мкм) у вигляді мікрокремнезему № 2 порівняно з сульфатом барію (табл. 2.5). Корозійна категорія відповідає класу **C2 (низький)** при забезпеченні високого класу довговічності (Н) від 15 до 25 років.

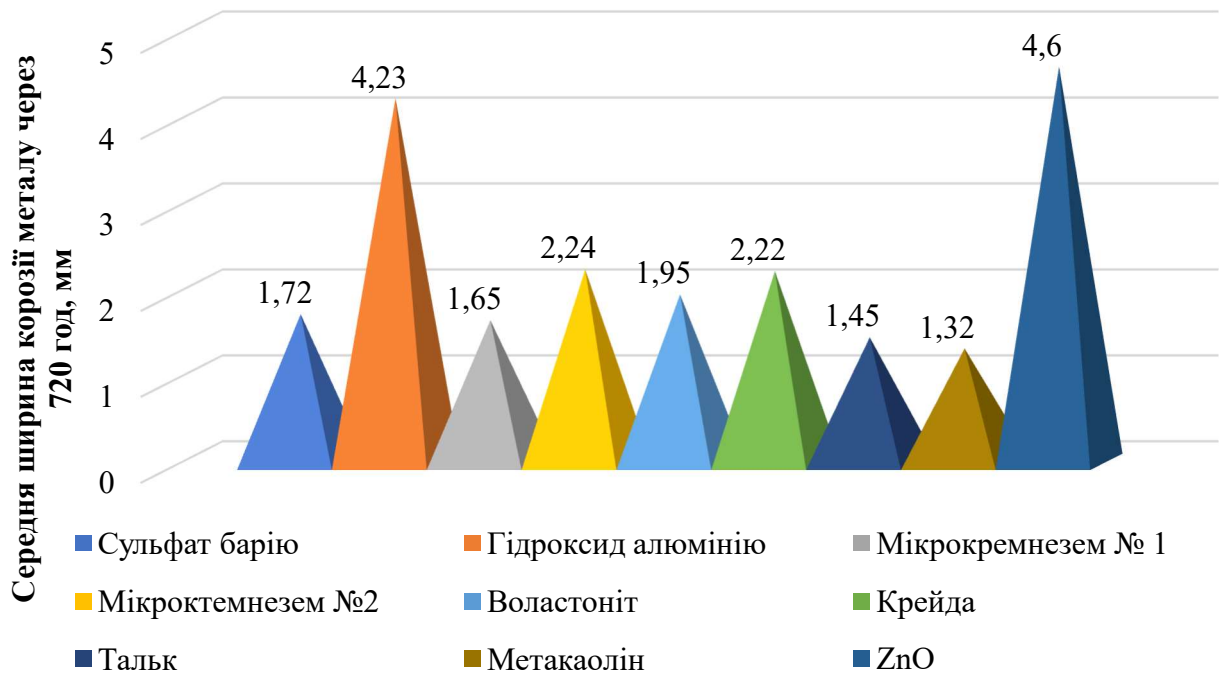


Рис 3.25. Середня ширина корозії металу при дії сольового туману протягом 720 годин.

Використання силікату у вигляді *воластоніту*, сприяє отриманню корозійної стійкості на рівні контрольного складу. Середня ширина відшарування покриття становить 4,6 мм (рис. 3.24), що на 5 % менше порівняно з контрольним складом. При цьому середня ширина корозії металу зростає на 12 % (рис. 3.25). Корозійна категорія відповідає класу **С3 (середній)** при забезпеченні високого класу довговічності (Н) від 15 до 25 років

Використання силікатного наповнювача у вигляді *тальку* є також одним з найбільш ефективним для підвищення корозійної стійкості порошкового покриття, що характеризується зменшенням середньої ширини відшарування покриття з 4,87 до 2 мм (рис. 3.24), та зменшенням середньої ширини розширення корозії з 1,72 до 1,45 мм (рис. 3.25), що на 145 % та на 16 %, відповідно, менше порівняно з контрольним складом. Корозійна категорія відповідає класу **С4 (високий)** при забезпеченні високого класу довговічності (Н) від 15 до 25 років.

В свою чергу, введення оксиду у вигляді *ZnO*, до складі порошкової фарби призводить до зростання середньої ширини відшарування покриття з 4,87 мм (контрольний склад), до 5,1 мм (рис. 3.23), а також середньої ширини

розширення корозії металу з 1,72 мм (контрольний склад), до 4,6 мм (рис. 3.24). Корозійна категорія відповідає класу **C2 (низький)** при забезпеченні високого класу довговічності (Н) від 15 до 25 років.

В ході дослідження встановлено, що ефективність використання наповнювачів для підвищення корозійної стійкості покриття змінюється залежно від їх хімічної природи, форми частин наповнювача, та їх дисперсності. Зміна хімічної природи наповнювачі з солей на силікати сприяє зростанню корозійної стійкості покриття. Зміна форми частин наповнювача з кубічної на сферичну також сприяє отриманню більш щільної структури системи із підвищенням корозійної стійкості покриття. Зменшення дисперсності частин наповнювача сприяє зниженню корозійної стійкості порошкового покриття за рахунок зміни коефіцієнта ущільнення системи.

За показниками середньої ширини відшарування покриття та середньої ширини розширення корозії металу, найбільш ефективним є використання силікатних наповнювачів у вигляді *метакаоліну, тальку та мікрокремнезему №1*. Досліджувані склади покриття з їх використанням, відповідають класу корозійної категорії C3...C4 при забезпеченню класу довговічності (Н) від 15 до 25 років (табл. 3.5). При цьому ефективність впливу наповнювачів на корозійну стійкість порошкових покриттів змінюється у ряду: силікат алюмінію (метакаолін) > силікат магнію (тальк) > аморфний діоксид кремнію (мікрокремнезем) > силікат кальцію (воластоніт) > сірчанокисла сіль барію (сульфат барію) > карбонат кальцію (крейда), що відрізняється від відомого впливу вказаних наповнювачів в традиційних лакофарбових матеріалів.

Таблиця 3.5.

Класифікація досліджуваних порошкових систем до категорій атмосферної корозійної агресивності

№ складу	Найменування наповнювача в складі порошкового покриття	Корозійна категорія у відповідності до ДСТУ ISO 12944-2	ДСТУ ISO 9227 (нейтральний сольовий туман)	Довговічність у відповідності до ДСТУ ISO 12944-1	Корозія від надрізу після сольового тесту, мм
Солі					

<i>Продовження таблиці 3.5</i>					
1	Сульфат барію (контрольний склад)	C3	480	Висока	1,72
2	Крейда	C2	48	Низька	2,22
Оксиди					
3	ZnO	C2	48	низька	4,6
Силікати					
4	Мікрокремнезем №1	C3	240	Середня	1,65
5	Мікрокремнезем №2	C2	48	Низька	2,24
6	Воластоніт	C3	240	Середня	1,95
7	Метакаолін	C4	720	Висока	1,32
8	Тальк	C4	720	Висока	1,05
Гідроксиди					
9	Гідроксид алюмінію	C2	48	Низька	4,23

3.3. Електро-фізико-хімічні процеси порошкових систем з використанням наповнювачів різного типу.

Для пояснення причин отриманих показників властивостей наведених порошкових систем з використанням наповнювачів різного типу та розкриття електро-фізико-хімічних процесів систем виконано аналіз електрохімічної поведінки зразків за допомогою електрохімічної імпедансної спектроскопії (EIS), а також аналіз морфології поверхні за допомогою скануючого електронного мікроскопу (SEM) та енергодисперсійної рентгенівської спектроскопії (EDS).

Результати вимірювання EIS досліджуваних систем порошкових покриттів з використанням наповнювачів різного типу наведено на рис. 3.26. Виявлено, що імпеданс досліджуваних систем покриттів змінюється залежно від типу наповнювача. Так, використання силікатних наповнювачів у вигляді метакаоліна та талька в складі порошкової фарби забезпечують, одні з найбільших значень імпедансу покриття серед досліджуваних систем (рис. 3.27). Це пов'язано з тим,

що функціональні групи вказаних силікатних наповнювачів характеризуються високою поверхневою енергією і реакційною здатністю, що обумовлює високу здатність до адсорбції і хемосорбції, сприяє утворенню міцних міжфазних зв'язків між наповнювачем та полімерною матрицею, підвищує щільність структури порошкового покриття та, відповідно, забезпечує високу корозійну стійкість матеріалу. В свою чергу використання наповнювача у вигляді сульфату барію (контрольний склад) призводить до зменшення імпедансу покриття, що обумовлено збільшенням кількості мікропорпор і шляхів проникнення електроліту в структурі покриття. Дифузія води та корозійних іонів через шляхи проникнення призводить до збільшення провідності покриття, при цьому глибина мікропор в покритті збільшується з часом занурення його в електроліт (рис. 3.27 а, б), що обумовлює зниження імпедансу покриття та, відповідно, погіршує захисні властивості матеріалу.

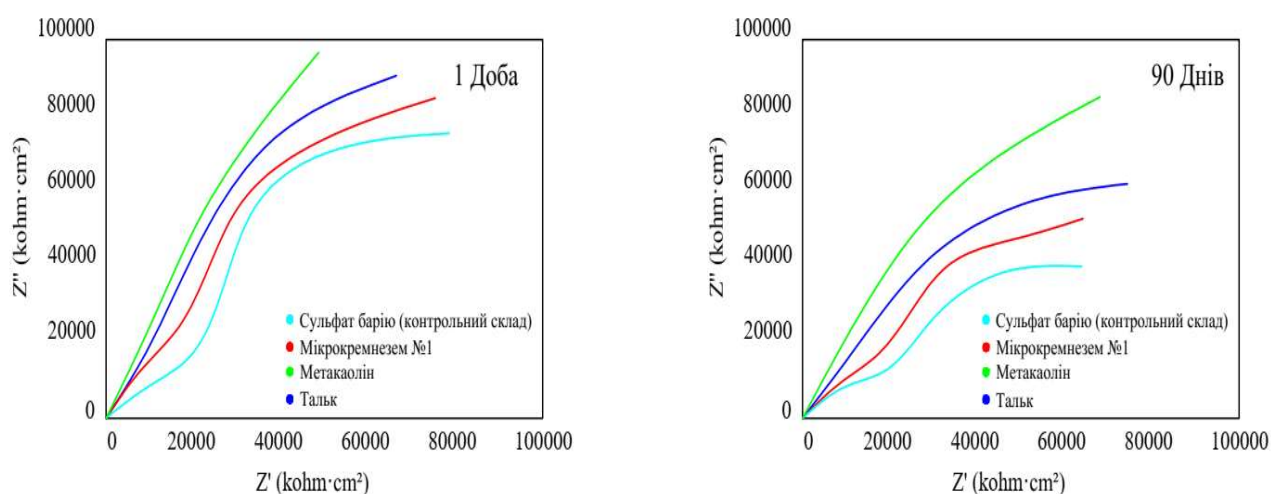


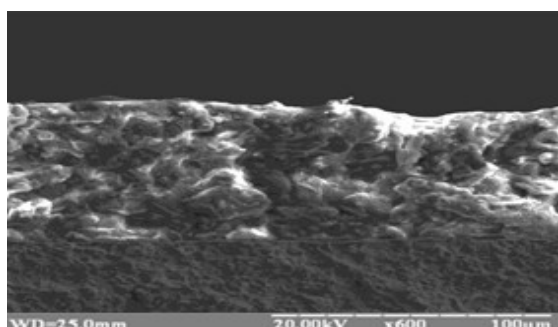
Рис. 3.26. Зміна імпедансного опору досліджуваних систем покриттів з використанням наповнювачів різного типу при зануренні в електроліт протягом, дів а) 1; г) 90.

Отримані результати досліджень дають змогу зробити висновок про те, що використання силікатних наповнювачів у вигляді метакаоліну та тальку в складі порошкових систем, які характеризуються високою адсорбційною та каталітичною активністю, сприяють отриманню щільної, непроникної структури

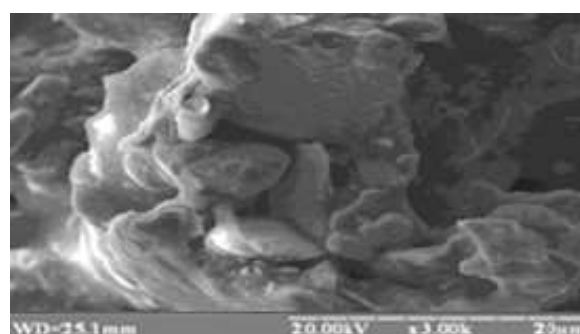
покриття, що в свою чергу, сприяє підвищенню імпедансного опору покриття та, відповідно, зростанню корозійної стійкості матеріалу.

За результатами досліджень електронної мікроскопії встановлено, що структура порошкового покриття з використанням наповнювача у вигляді сульфату барію характеризується наявністю великої кількості мікропор (рис. 3.27, а, б), що негативно впливає на корозійну стійкість матеріалу. На противагу до системи з сульфатом барію, в структурі порошкового покриття з використанням наповнювачів у вигляді оксидів та силікатів спостерігається суттєве зменшення пористості та відсутні дефекти, що, відповідно, сприяє підвищенню захисних властивостей матеріалу. Так, структура порошкового покриття з використанням наповнювача у вигляді мікрокремнезему № 1 характеризується більшою щільністю та менш явно вираженими дефектами порівняно із контрольним складом (рис. 3.27, в, г). Найбільшою щільністю характеризується структура покриття з використанням силікатного наповнювача у вигляді метакаоліну, в структурі не виявлено явних дефектів та мікропор (рис. 3.27, е, ж), що, відповідно, сприяє підвищенню корозійної стійкості матеріалу. Структура покриття з використанням наповнювача у вигляді тальку, також характеризується відсутністю явної пористості (рис. 3.25, є, ж), що, сприяє підвищенню корозійної стійкості матеріалу. Поясненням цього ефекту є лускунчаста та волокниста форма частинок силікатних наповнювачів, що сприяють отриманню щільної структури, мають високий рівень розмірної анізотропії, та демонструють значно вищі бар'єрні властивості, а разом з тим і високу корозійну стійкість отриманих на їх основі покриттів, ніж кубічні частинки сульфату барію.

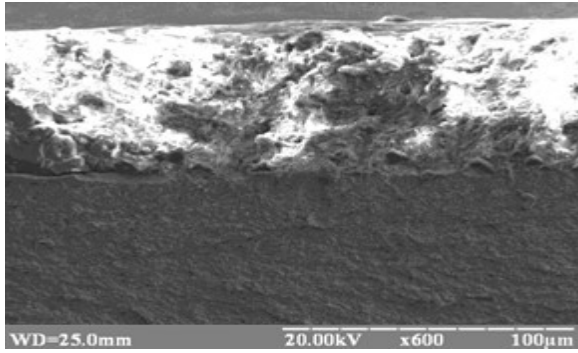
а)



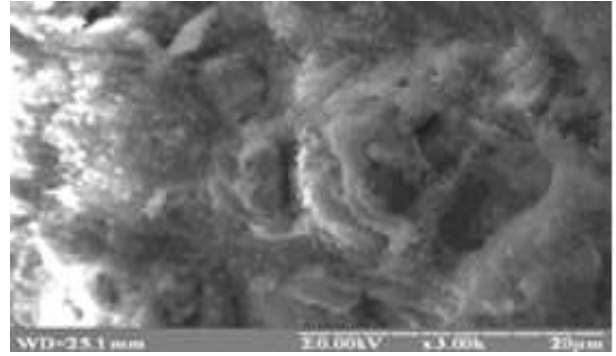
б)



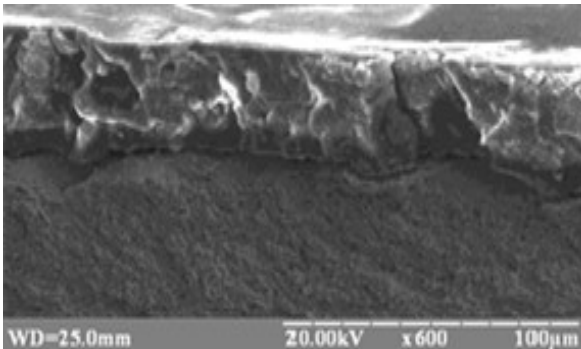
в)



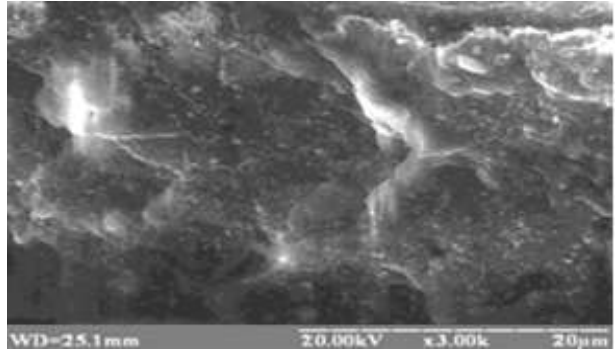
г)



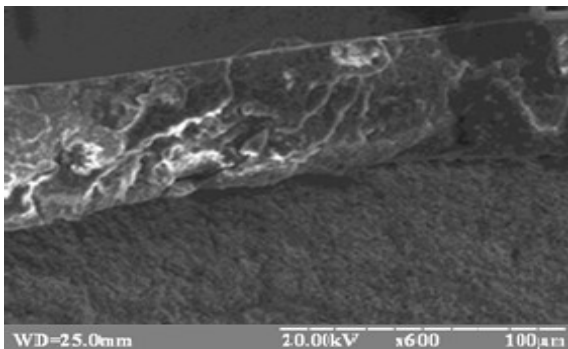
д)



е)



ж)



з)

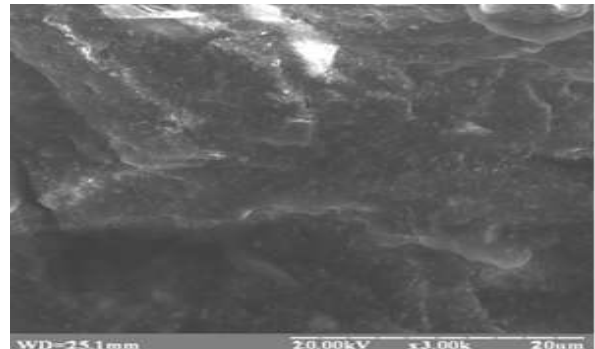


Рис 3.27. Мікрофотографія поперечного перерізу досліджуваних складів покриття з використанням різних типів наповнювачів: а), б) сульфат барію; в), г) мікрокремнезем №1; д), е) тальк; ж), з) метакаолін.

Згідно результатів ЕРС (рис 3.28) виявлено, що рефлекси зображені на рентгенограмах досліджуваних систем відрізняються між собою. Так, в системі покриття з використанням наповнювача у вигляді сульфату барію найбільш домінуючими є рефлекси барію (Ba) та вуглецю (C). На рентгенограмах системи покриття з використанням наповнювача у вигляді мікрокремнезему № 1

фіксується рефлекси силіцію (Si). В свою чергу, на рентгенограмах системи покриття з використанням наповнювача у вигляді метакаоліну фіксуються рефлекси силіцію (Si) та алюмінію (Al). На рентгенограмах системи покриття з використанням наповнювача у вигляді тальку додатково фіксується рефлекси магнію (Mg)

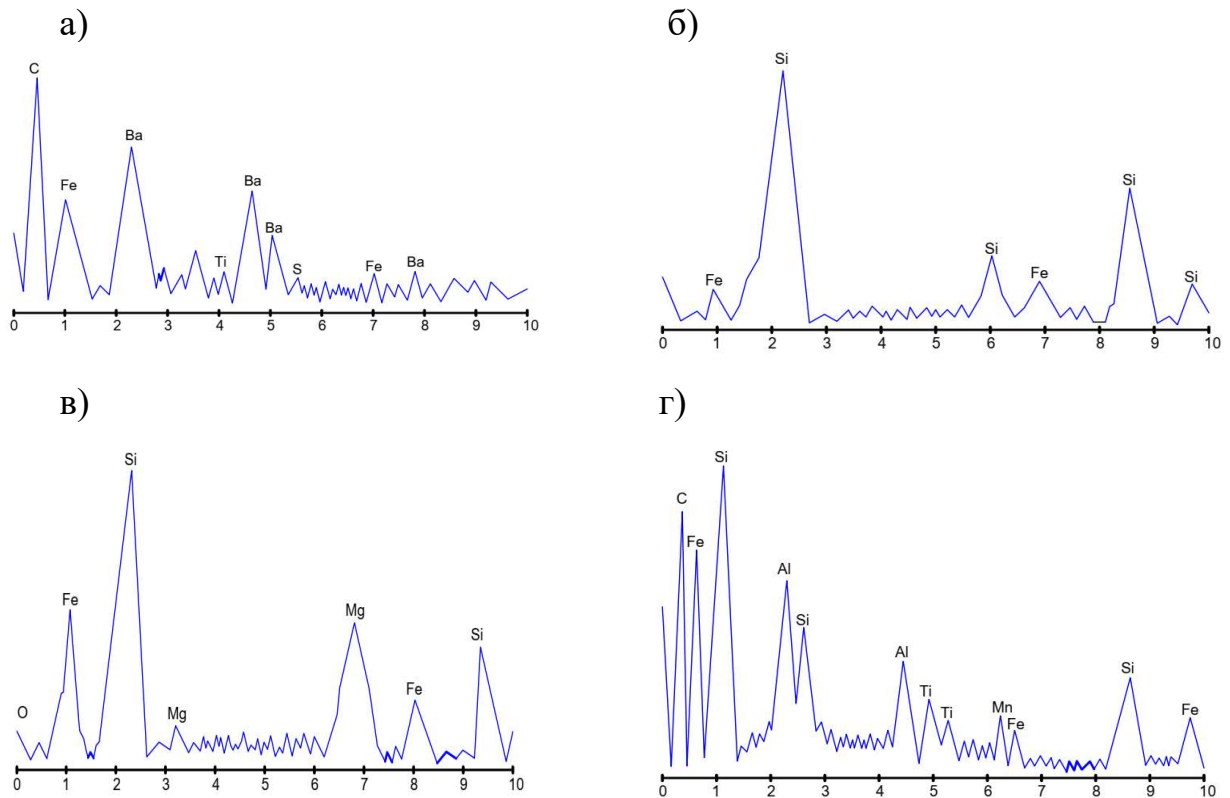


Рис 3.28. EPC досліджуваних складів покриття з використанням різних типів наповнювачів: а) сульфат барію; б) тальк; в) метакаолін; г) мікрокремнезем №1.

Таким чином, за результатами досліджень встановлено, що використання силікатних наповнювачів Українського виробництва у вигляді метакаоліну і тальку в складі порошкової фарби сприяє, утворенню міцних міжфазних зв'язків між наповнювачем та полімерною матрицею, що підвищує щільність структури покриття, сприяє підвищенню імпедансного опору та відповідно, забезпечує отримання високих експлуатаційних властивостей покриття. Це визначає їх високу ефективність в складі порошкової фарби з можливим їх обранням при розширенні номенклатури продуктів, в тому числі призначених для влаштування

антикорозійного порошкового покриття для металевих будівельних виробів і конструкціях.

3.4. Оптимізація складів порошкового лакофарбового матеріалу з використанням наповнювачів у вигляді метакаоліну та тальку.

Оптимізація складів порошкового лакофарбового матеріалу, що містять силікатні наповнювачі у вигляді метакаоліну і тальку повинна базуватись на певному наборі критеріїв, які характеризують особливості ефективного антикорозійного захисту запроектованих систем під час їх експлуатації, а саме – ширини відшарування покриття та ширини корозії металу при дії корозійного середовища.

В якості полімерної матриці використано систему «плівкоутворювач Cerylcoat 2618-3 – зшиваючий агент НАА», яка характеризується найкращими з обраних фізико-механічних та експлуатаційних характеристик (згідно розділу 3.1).

Для забезпечення покривності поверхні металевих зразків в досліджуваних системах було обрано білий пігмент у вигляді діоксиду TiO_2 .

З використанням трифакторного трирівневого плану експерименту досліджено вплив вмісту силікатного наповнювача у вигляді метакаоліну (фактор X_3) при змінному співвідношенні плівкоутворювача (фактор X_1) і діоксиду титану (фактор X_2) на ширину відшарування покриття та корозії металу при дії сольового туману протягом 720 годин. Рівні варіювання змінних факторів наведено в таблиці 3.6, план проведення експерименту та результати досліджень ширини відшарування покриття та корозії металу з використання наповнювача у вигляді метакаоліну та тальку наведено в таблиці 3.7 та таблиці 3.8, відповідно.

У результаті математичної обробки експериментальних даних отримано рівняння регресії (3.1 - 3.3) і побудовано ізопараметричні діаграми впливу змінних факторів на ширину відшарування покриття та корозії металу.

Таблиця 3.6

Інтервали варіювання та значення параметрів.

Фактори, вигляд		Рівні варіювання			Інтервал варіювання
натуральний	кодований	Верхній (1)	Середній (0)	Нижній (-1)	
Crylcoat 2618-3 – НАА, %	X ₁	608-32	570-30	532-28	95/5
Метакаолін / Тальк, %	X ₂	40	20	0	20
TiO ₂ , %	X ₃	20	-	10	10

Таблиця 3.7

Матриця планування експерименту та результати визначення корозійної стійкості порошкових лакофарбових систем з використанням наповнювача у вигляді метакаоліну після дії сольового туману протягом 720 годин.

№	Фактори, вигляд						Ширина відшарування покриття, мм	Ширина розширення корозії, мм
	Кодований			Натуральний				
	X ₁	X ₂	X ₃	Crylcoat 2618-3 - НАА	Мета каолін	TiO ₂		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	1	1	608-32	40	20	2,2	1,9
2	1	1	-1	608-32	40	10	1,7	1,4
3	1	0	1	608-32	20	20	1,5	1
4	1	0	-1	608-32	20	10	1,8	1,6
5	1	-1	1	608-32	0	20	5,8	4
6	1	-1	-1	608-32	0	10	7,8	5,8
<i>Продовження таблиці 3.7</i>								
7	0	1	1	570-30	40	20	3,4	2,05
8	0	1	-1	570-30	40	10	2,5	1,5
9	0	0	1	570-30	20	20	1,7	1,15

10	0	0	-1	570-30	20	10	2,2	1,5
11	0	-1	1	570-30	0	20	6,7	4,5
12	0	-1	-1	570-30	0	10	9,3	6,2
13	-1	1	1	532-28	40	20	3,7	2,6
14	-1	1	-1	532-28	40	10	3,0	2,1
15	-1	0	1	532-28	20	20	2,5	1,7
16	-1	0	-1	532-28	20	10	3,3	2,3
17	-1	-1	1	532-28	0	20	8,8	6,2
18	-1	-1	-1	532-28	0	10	11,3	8,4

Таблиця 3.8

Матриця планування експерименту та результати визначення корозійної стійкості порошкових лакофарбових систем з використанням наповнювача у вигляді тальку після дії сольового туману протягом 720 годин.

№	Фактори, вигляд						Ширина відшарування покриття, мм	Ширина розширення корозії, мм
	Кодований			Натуральний				
	X ₁	X ₂	X ₃	Crylcoat 2618-3 - НАА	Тальк	TiO ₂		
1	2	3	4	5	6	7	10	11
1	1	1	1	608-32	40	20	2,5	2
2	1	1	-1	608-32	40	10	1,6	1,5
3	1	0	1	608-32	20	20	1,4	1,2
<i>Продовження таблиці 3.8</i>								
4	1	0	-1	608-32	20	10	2	1,9
5	1	-1	1	608-32	0	20	6,0	4,4
6	1	-1	-1	608-32	0	10	7,6	4,3

7	0	1	1	570-30	40	20	4,4	3,2
8	0	1	-1	570-30	40	10	2,3	1,6
9	0	0	1	570-30	20	20	2	1,5
10	0	0	-1	570-30	20	10	2,7	2
11	0	-1	1	570-30	0	20	6,8	4,7
12	0	-1	-1	570-30	0	10	9,5	6,1
13	-1	1	1	532-28	40	20	5,3	3,7
14	-1	1	-1	532-28	40	10	3,5	2,6
15	-1	0	1	532-28	20	20	3	1,8
16	-1	0	-1	532-28	20	10	4,3	3,2
17	-1	-1	1	532-28	0	20	8,6	6
18	-1	-1	-1	532-28	0	10	11,5	8,8

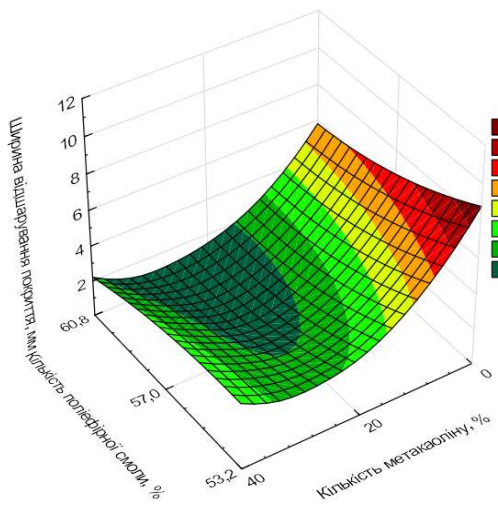
Результати досліджень свідчать про те, що введення до порошкової поліефірної системи наповнювача у вигляді метакаоліну дозволяє підвищити корозійну стійкість та зменшити ширину відшарування покриття та ширину корозії металу. Ефективність використання наповнювача залежить від його вмісту, вмісту титану та плівкоутворювача в складі системи (рис 3.29...рис.3.32). Виявлено, що введення 20...40 % метакаоліну підвищує антикорозійні характеристики покриття в системах з вмістом плівкоутворювача в межах 53,2...60,8 %. Виявлено, що введення 20 % метакаоліну в склад систем призводить до зменшення відшарування покриття з 6,7 до 1,7 мм., а також зменшення ширини корозії металу з 4,5 мм до 1,5 мм в системах з 20 % діоксиду титану. В системі з 10 % діоксиду титану ширина відшарування зменшується з 9,3 до 2,2 мм., а ширина корозії металу з 6,2 мм до 1,5 мм. При збільшенні кількості плівкоутворювача до 60,8 % ширина відшарування покриття та корозії металу зменшується у всіх системах з вмістом діоксиду титану 10...20 % та метакаоліну від 20 до 40 %. Необхідно відмітити, що система з вмістом 20 % метакаоліну, 20

% діоксиду титану та 60,8 % плівкоутворювача демонструє найменші показники відшарування покриття – 1,5 мм., та корозії металу – 1,0 мм, тоді як система без метакаоліну демонструє відшарування покриття - 7,8 мм, а корозія металу становить 5,8 мм. При цьому виявлено, що введення метакаоліну менше 20 % призводить до збільшення ширини відшарування покриття та ширини корозії металу.

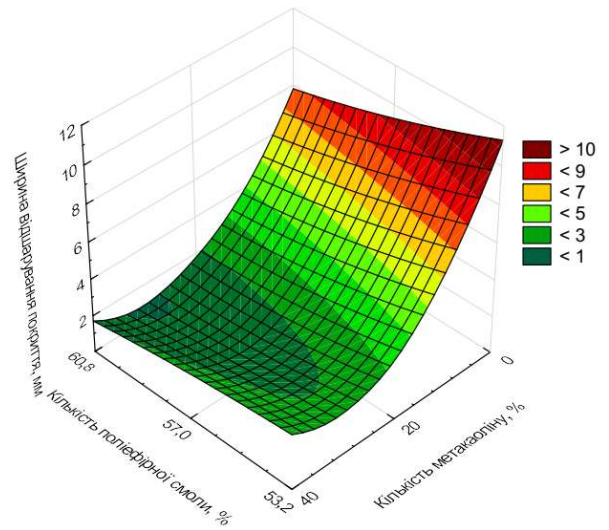
Результати досліджень відшарування покриття та ширини корозії металу свідчать про те, що при введенні наповнювача у вигляді метакаоліну в кількості 20% демонструють найвищі показники корозійної стійкості покриття у всіх діапазонах вмісту плівкоутворювача в складі систем.

Введення наповнювача у вигляді тальку в кількості 20-40 % до складу поліефірної порошкової системи призводить до зменшення ширини відшарування покриття з 6,8 мм до 2 мм при вмісті плівкоутворювача 57,0 % та діоксиду титану 20 %. При цьому ширина корозії металу зменшується з 4,7 мм до 1,5 мм. Введення тальку в складі поліефірної системи в кількості менше та більше 20 % призводить до прямо пропорційного погіршення корозійної стійкості системи. Так, ширина відшарування покриття для системи без тальку з вмістом плівкоутворювача у кількості 57 % та діоксиду титану 10 % становить 9,5 мм, а ширина корозії металу 6,1 мм.. При цьому зі збільшенням кількості тальку в системі до 40 % ширина відшарування покриття зменшується до 2,3 мм., а корозія металу до 1,6 мм. В свою чергу, при введенні тальку у кількості 20 % ширина відшарування покриття становить 2,7 мм, а ширина корозії металу 2 мм (при вмісті діоксиду титану у кількості 10 %).

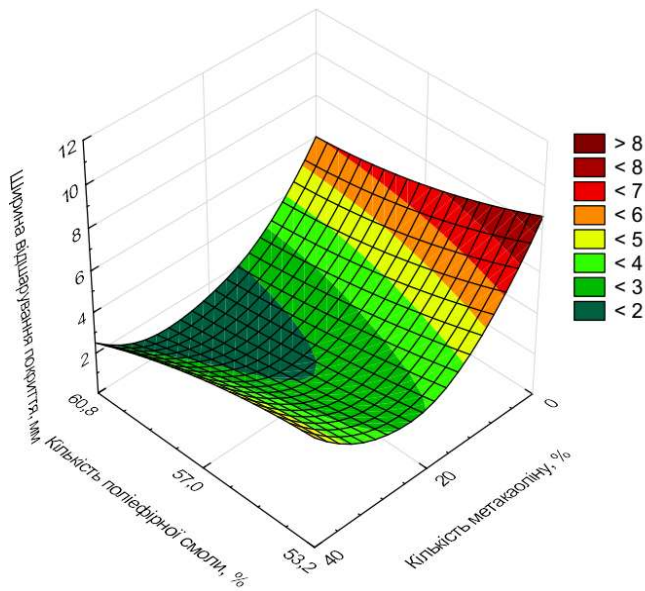
а)



б)



в)



г)

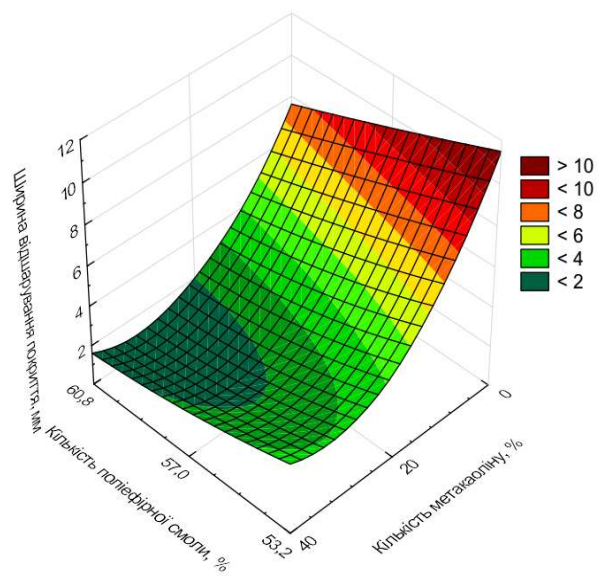
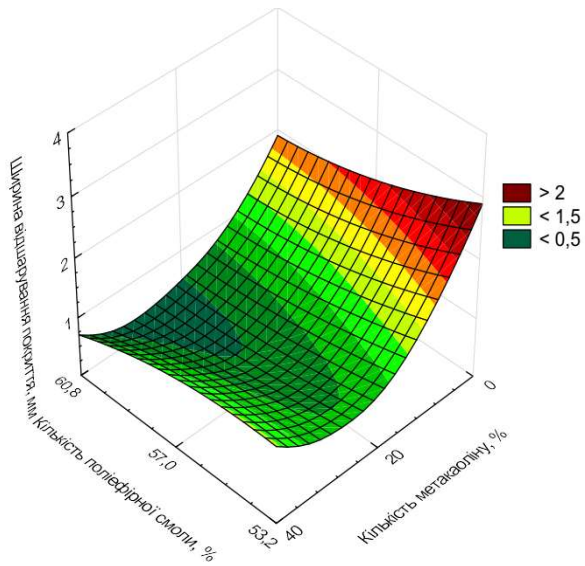
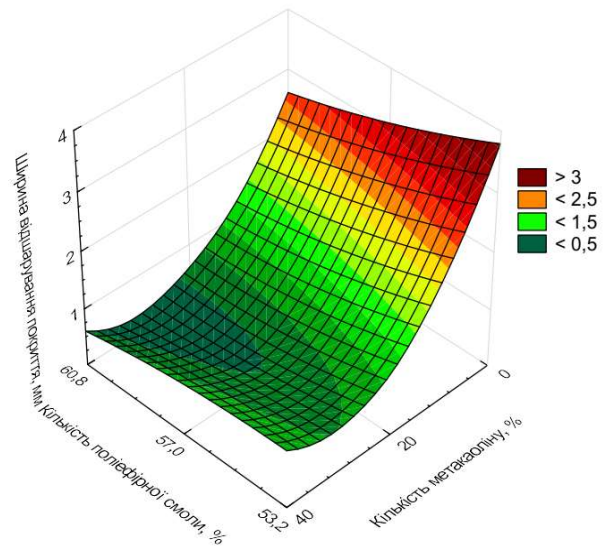


Рис. 3.29 Ізопараметричні діаграми зміни ширини відшарування порошкових систем протягом 720 годин дії сольового туману: а) метакаоолін 20 %, діоксид титану 20 %; б) метакаоолін 10 %, діоксид титану 10 %; в) тальк 20 %, діоксид титану - 20 %; г) тальк 10 %, діоксид титану - 10 %.

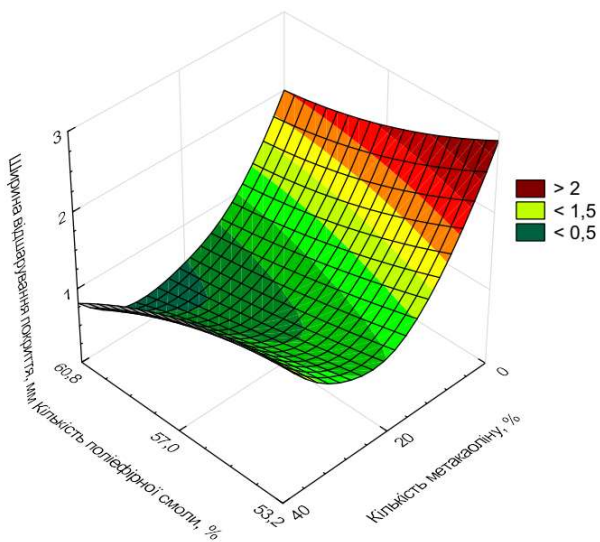
а)



б)



в)



г)

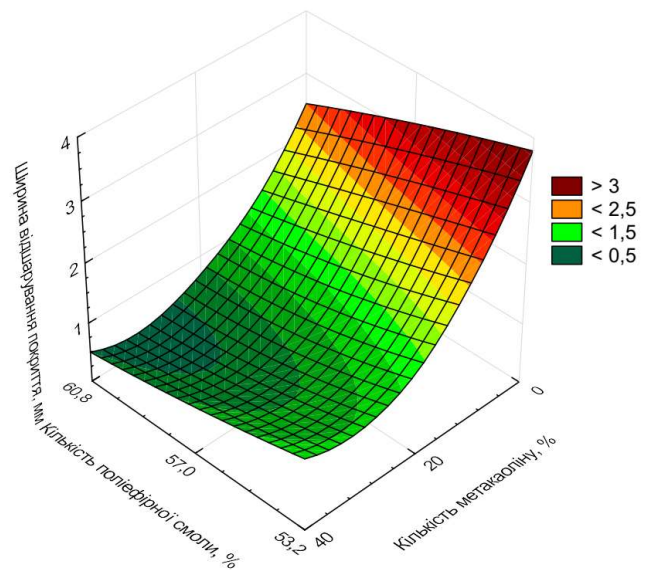
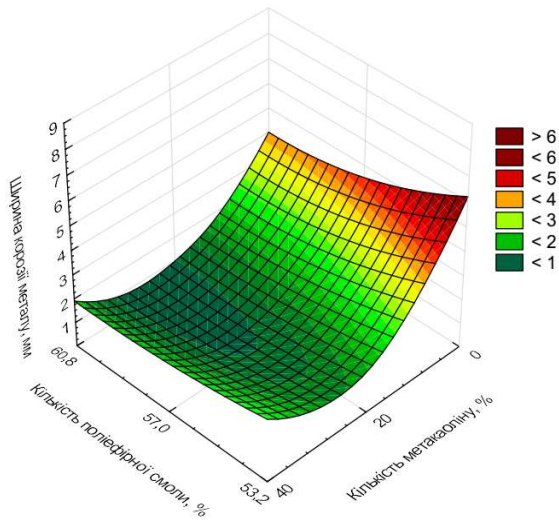
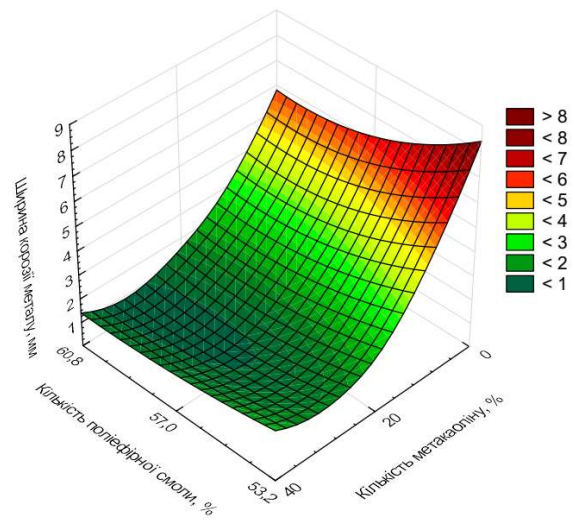


Рис. 3.30 Ізопараметричні діаграми зміни ширини відшарування порошкових систем протягом 240 годин дії сольового туману: а) метакаолін 20 %, діоксид титану 20 %; б) метакаолін 10 %, діоксид титану 10 %; в) тальк 20 %, діоксид титану - 20 %; г) тальк 10 %, діоксид титану - 10 %.

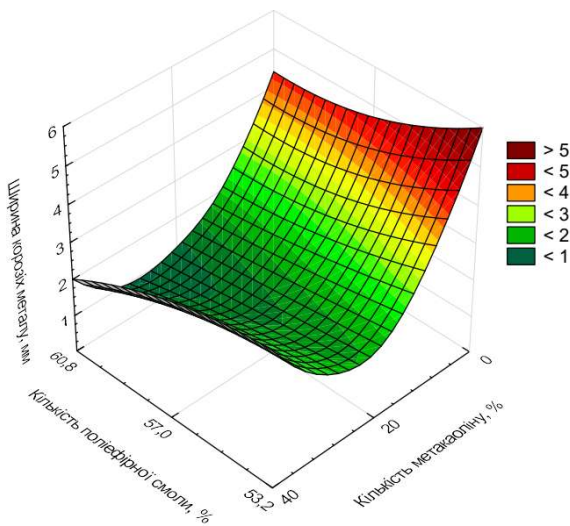
а)



б)



в)



г)

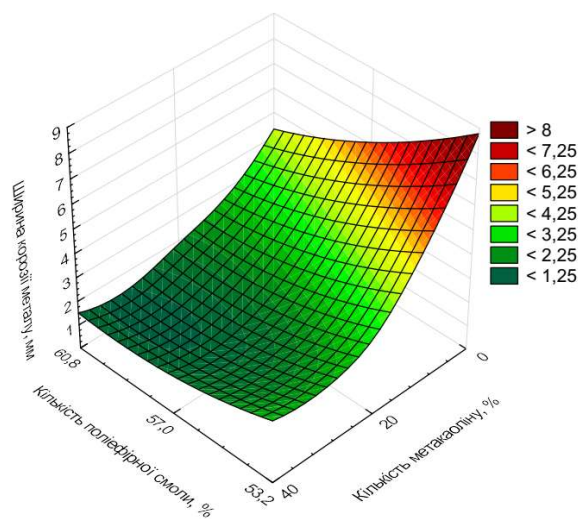


Рис. 3.31 Ізопараметричні діаграми зміни ширини корозії металу протягом 720 годин дії сольового туману: а) метакаолін 20 %, діоксид титану 20 %; б) метакаолін 10 %, діоксид титану 10 %; в) тальк 20 %, діоксид титану - 20 %; г) тальк 10 %, діоксид титану - 10 %.

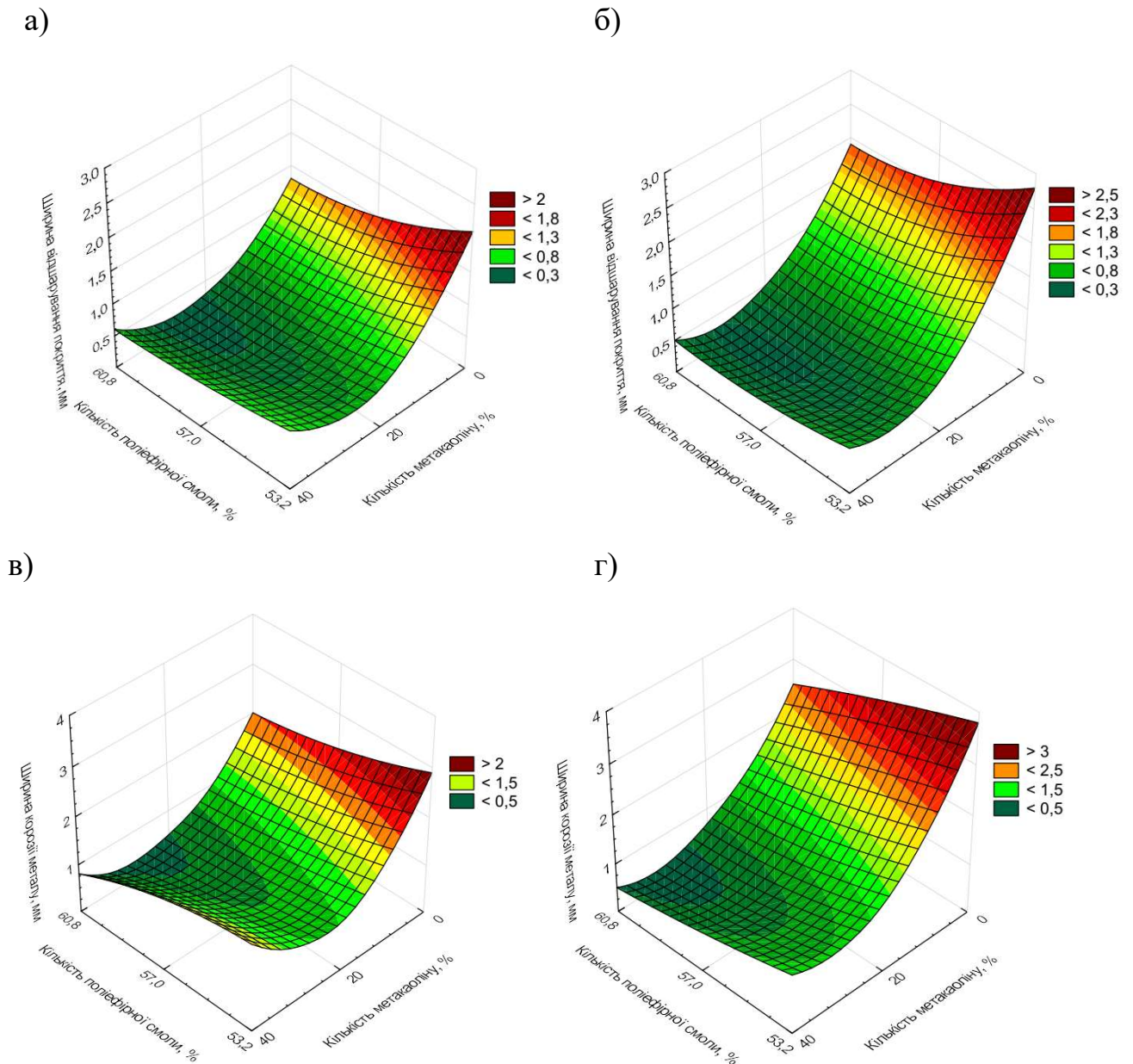


Рис. 3.32 Ізопараметричні діаграми зміни ширини корозії металу протягом 240 годин дії сольового туману: а) метакаолін 20 %, титан 20 %; б) метакаолін 10 %, діоксид титану 10 %; в) тальк 20 %, діоксид титану - 20 %; г) тальк 10 %, діоксид титану - 10 %.

Аналіз результатів досліджень свідчить про те, що ефективність використання наповнювачів метакаоліну та тальку в складі порошкової фарби підвищується пропорційно збільшенню їх вмісту в системі. Використання вказаних наповнювачів в складі порошкової фарби сприяє зменшенню ширини відшарування покриття до 1,2 мм. та ширини корозії металу до 2,0 мм після 720

годин випробування в камері сольового туману. Оптимальна область порошкової фарби з метакаоліном та тальком, обмежена вмістом добавки в діапазоні 20 % та вмістом поліефірної смоли 57...60 % (табл. 3.9). Використання вказаного діапазону наповнювачів в складі порошкової фарби сприяє зменшенню ширини відшарування покриття та ширину корозії металу, а також класифікує покриття до категорії атмосферної корозійної агресивності С4 згідно з ISO 12944-2:2017 при забезпеченні високої (Н) довговічності від 15 до 25 років у відповідності до ДСТУ ISO 12944-1.

Таблиця 3.9

Склади порошкового лакофарбового матеріалу

Позначення	Співвідношення компонентів в фарбі, %			
	Crylcoat 2618-3 - НАА	Тальк	Метакаолін	Діоксид титану
№1	60/5	-	20	20
№2	57/5	20	-	20
№3	60/5	-	20	20

3.5. Висновки до розділу 3

1. Теоретично обґрунтовано і експериментально доведено можливість отримання декоративно-захисних порошкових лакофарбових матеріалів за рахунок оптимізації складових в системі «плівкоутворювач - зшиваючий агент-наповнювач» які направлено впливають на формування структури та фізико-механічних властивостей покриття.

2. Визначено особливості формування структури порошкових лакофарбових систем, і показано, що використання модельної системи «поліефірний плівкоутворювач – НАА» сприяє отриманню високих фізико-механічних властивостей при забезпеченні високої корозійної стійкості покриттів за рахунок отримання щільної, непроникної структури із високим ємнісним опором покриття шляхом високого рівня зшивання плівкоутворювача під час затвердіння.

3. Показано принципову можливість підвищення корозійної стійкості порошкового лакофарбового матеріалу шляхом введення в його склад силікатних наповнювачів у вигляді метакаоліну та тальку. Використання вказаних наповнювачів сприяє зменшенню ширини відшарування покриття та ширині корозії металу, а також класифікує покриття на їх основі до категорії атмосферної корозійної агресивності класу С4 згідно з ДСТУ ISO 12944-2:2017 при забезпеченні довговічності покриття (Н) від 15 до 25 років у відповідності з ДСТУ ISO 12944-1:2019.

4. Розроблено та оптимізовано склади порошкового лакофарбового матеріалу з використанням наповнювачів у вигляді метакаоліну та тальку з високою корозійної стійкістю.

5. Встановлено, що використання силікатних наповнювачів у вигляді метакаоліну та тальку в складі порошкових лакофарбових матеріалів сприяють отриманню щільної, непроникної структури порошкового покриття за рахунок утворення міцних між фазних зв'язків між наповнювачем та полімерною матрицею шляхом їх високої адсорбційної та каталітичної активності.

РОЗДІЛ 4

ВПЛИВ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ДОБАВОК НА ФОРМУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОРОШКОВОГО ПОКРИТТЯ

Перспективним способом спрямованого регулювання фізико-механічних характеристик та корозійної стійкості порошкових лакофарбових матеріалів, є модифікування полімерної матриці хімічними добавками різної природи основної діючої речовини. Роль добавок та інших спеціальних продуктів надзвичайно важлива для отримання характеристик, які часто є основною вимогою для відповідності заздалегідь визначеним технічним характеристикам кінцевого продукту.

В загальному, хімічні добавки, що використовуються в складі порошкових лакофарбових матеріалів сприяють регулюванню таких властивостей, як розтікання, дегазація та міцність покриття, а також стійкість до впливу різних агресивних речовин.

Основним відкритим питанням є вивчення впливу модифікуючих добавок різної природи основної діючої речовини та механізму їх дії на формування властивостей порошкових лакофарбових матеріалів для можливості підвищення фізико-механічних властивостей покриття та покращення антикорозійного захисту будівельних металевих виробів і конструкцій.

4.1. Вплив реологічних добавок на формування порошкового покриття.

Плівкоутворення, а також розтікання термореактивних порошкових покриттів регулюються двома основними параметрами а саме: поверхневим натягом та в'язкістю розплаву. Поверхневий натяг є основною рушійною силою (при заданому режиму затвердіння), що викликає розтікання порошкового покриття. Єдиним опором для розтікання є показник в'язкості розплавленого покриття в умовах його затвердіння. Отже, добавки, що регулюють реологічні

властивості порошкового покриття можна більш точно визначити як «модифікатори поверхневого натягу».

В якості модифікаторів поверхневого натягу використано добавки реологічної дії з різним типом основної діючої речовини: **I** - поліакрилат адсорбований на діоксиді кремнію; **II** – поліоксіетиленовий похідний касторової олії; **III** – модифікована бентонітова глина; **IV** – гідрофільний діоксид кремнію. Модифікуючі добавки вводили зверх 100 % від маси компонентів порошкової фарби. В дослідженнях використано оптимальний за даними розділу 3 (див. табл. 3.9) склад № 1 порошкового лакофарбового матеріалу.

Склади лакофарбових матеріалів модифікованих добавками реологічної дії та результати досліджень наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Вплив добавки поверхневого натягу на характеристики порошкового покриття.

Склад № п/п	Вміст добавки реологічної дії, % за мас.				Характеристики			
	I	II	III	IV	Візуальна оцінка *	Розтікання, см	Міцність до дії зворотного удару, см/кг	Міцність на згин, мм
1	-	-	-	-	–	3,0	50	8
2	1,0	-	-	-	+++	4,0	90	6
3	2,0	-	-	-	+++	4,0	90	6
4	-	0,5	-	-	–	3,5	60	8
5	-	1,0	-	-	+	3,7	70	8
6	-	-	0,5	-	–	2,7	30	10
7	-	-	1,0	-	–	2	20	12
8	-	-	-	0,5	–	2,9	30	10
9	-	-	-	1,0	–	2,2	20	12
10	1,0	0,5	-	-	+++	4,5	90	6
11	1,0	-	0,5	-	+++	3,0	70	8
12	1,0	-	-	0,5	++	3,1	65	8
13	1,0	1,0	-	-	+++	5,0	95	6
14	1,0	-	1,0	-	+	2,2	40	10
15	1,0	-	-	1,0	+	2,4	30	10

*Примітка: – -погано, + - задовільно, ++ - добре, +++ - відмінно

За результатами досліджень виявлено, що добавки реологічної дії по різному впливають на формування властивостей порошкового покриття. Так, за

критерієм візуальної оцінки порошкового покриття одним з найбільш ефективних є застосування добавки на основі поліакрилату адсорбованого на діоксиді кремнію. Введення даної добавки у кількості 1 % за мас. сприяє збільшенню показника розтікання до 4 см (рис. 4.1) підвищує міцність покриття до дії зворотного удару з 50 см/кг (контрольний склад) до 90 см/кг (рис. 4.3) та міцності на згин (6 мм), а також сприяє отриманню гладкого порошкового покриття та перешкоджає утворенню помітних візуальних дефектів (рис. 4.2, а). В той же час, порошкове покриття без застосування вказаної добавки характеризується наявністю дрібних голчастих отворів та утворенню ефекту «апельсинової кірки» (рис. 4.2, б). Даний ефект зумовлений проблемами спричиненими локальними відмінностями в поверхневому натягу (змочуваності основи) розплавленої плівки порошкового покриття, що змушує розплавлену плівку рухатись у бік вищого поверхневого натягу та призводить до утворення «апельсинової кірки» та голчастих отворів. Введення вказаної добавки позитивно впливає на властивості поверхні розділу фаз, тим самим згладжуючи (або вирівнюючи) локальні відмінності в поверхневому натягу основи та сприяє отриманню якісного покриття без помітних візуальних дефектів. Також слід зазначити, що введення даної добавки в кількості 2% є неефективним так як не змінює розтікання системи та не призводить до будь яких візуальних змін покриття.

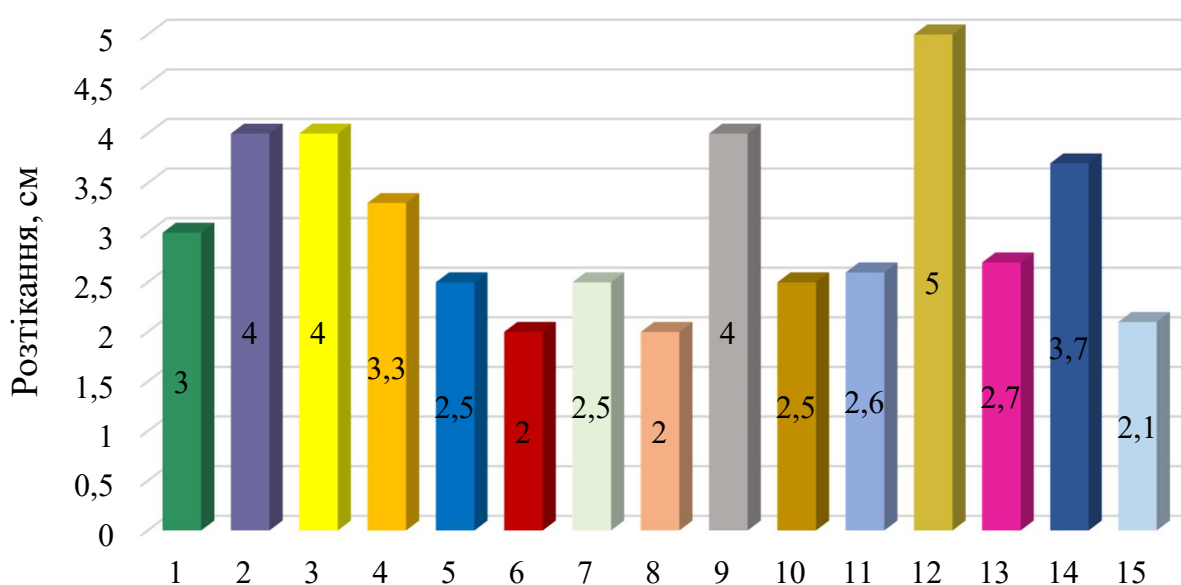


Рис. 4.1. Розтікання досліджуваних систем (згідно табл. 4.1) модифікованих реологічними добавками.

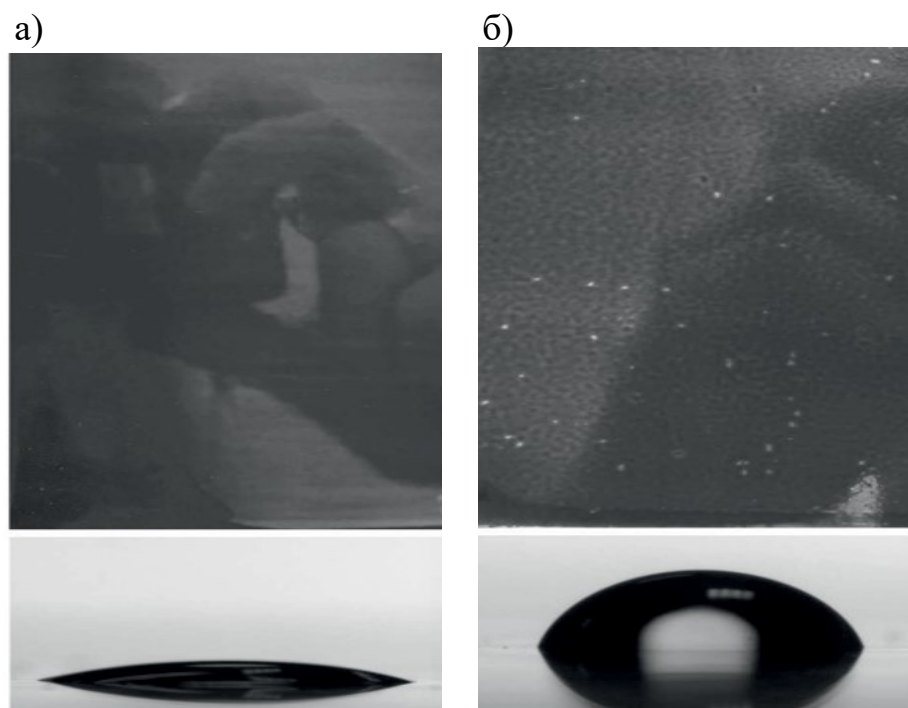


Рис. 4.2. Вплив добавки реологічної дії на зовнішній вигляд та кути змочування порошкового покриття: **а)** з добавкою №1; **б)** без добавки.

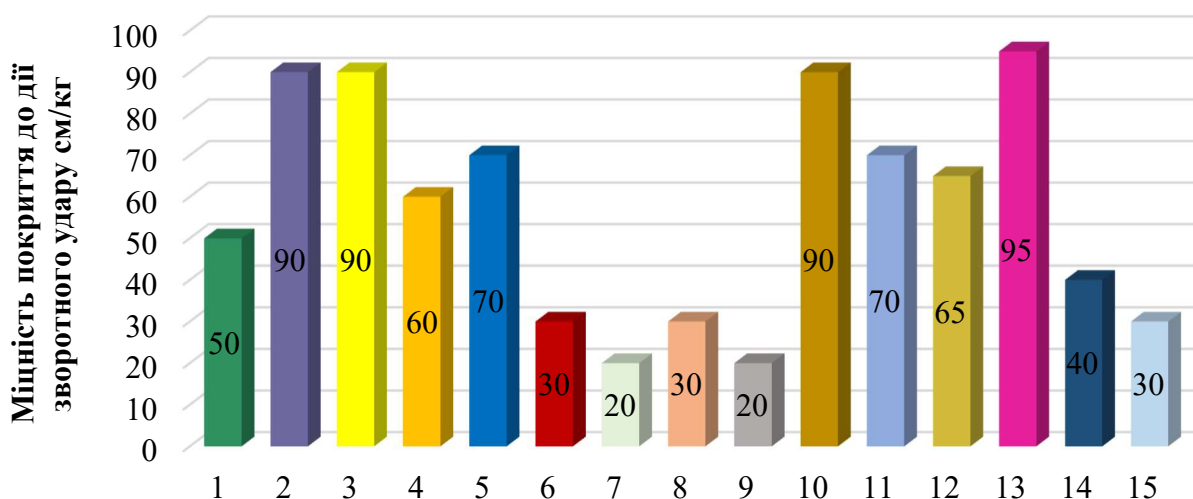


Рис. 4.3. Міцність досліджуваних систем покриття (згідно табл. 4.1) до дії зворотного удару.

Використання добавки на основі поліоксіетиленової похідної касторової олії сприяє збільшенню показника розтікання з 3,0 см до 3,5...3,7 см (рис. 4.1) та

усуненню голчастих проколів на поверхні покриття однак не забезпечує його високу гладкість (рис. 4.4) на якому спостерігається ефект «апельсинової кірки». Введення добавки також сприяє підвищенню міцності покриття до дії зворотного удару з 50 см/кг (контрольний склад) до 60 см/кг (рис. 4.3) та міцності на згин (8 мм).

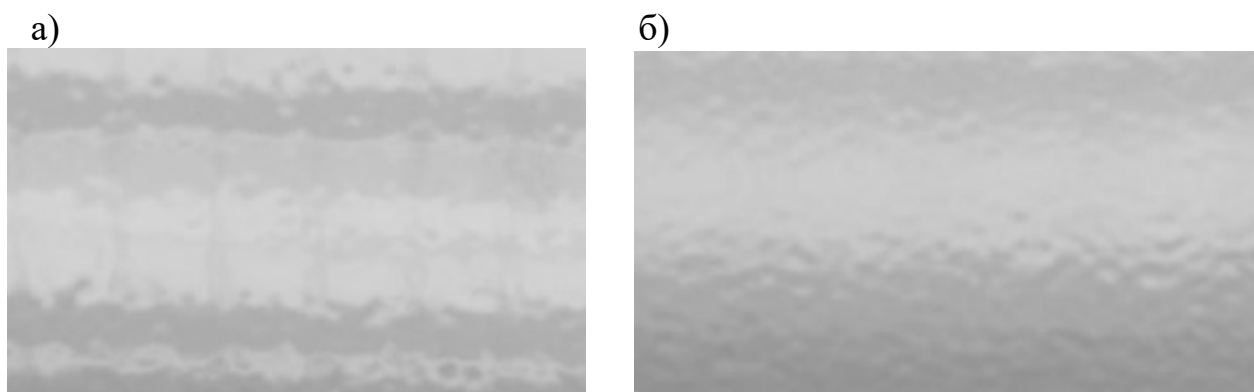


Рис. 4.4. Візуальний вигляд покриття з використанням добавки II, %: **а)** 1,0; **б)** 0,5.

Застосування добавки на основі модифікованої бентонітової глини призводить до зниження показника розтікання покриття з 3,0 до 2,0 см та погіршенню його гладкості з утворенням, так званого «текстурного ефекту» (рис.4.5). При цьому спостерігається різке погіршення механічних властивостей покриття – зниження ударної міцності до дії зворотного удару з 50 до 20 см/кг (рис 4.3) та міцності на згин до 12 мм. Це пов'язано з тим, що добавка на основі бентонітових глин являють собою високодисперсні модифіковані шаруваті силікати, які володіють високою зв'язуючою здатністю, адсорбційною і каталітичною активністю, що в свою чергу призводить до зниження розтікання і змочуваності порошкових систем та погіршує гладкість покриття.

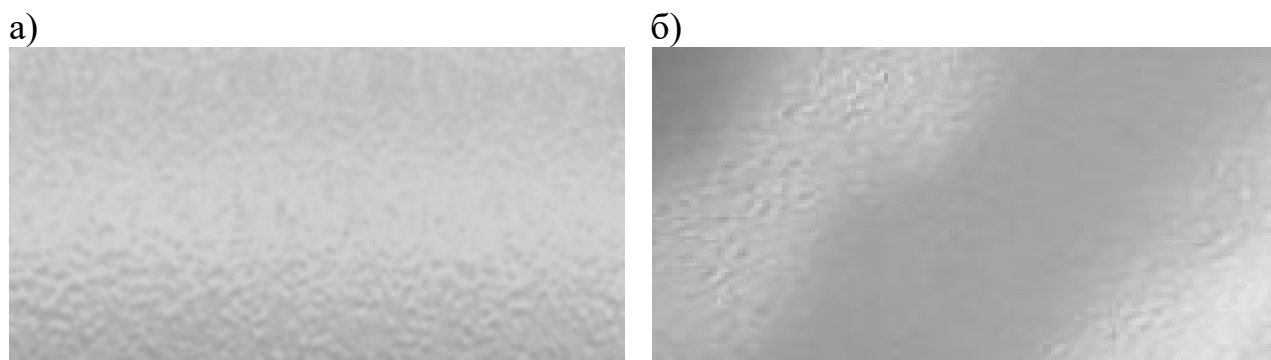


Рис. 4.5. Візуальний вигляд покриття з використанням добавки III, %: **а)** 1,0; **б)** 0,5.

Введення добавки на основі гідрофільного діоксиду кремнію також призводить до зниження показника розтікання покриття з 3,0 до 2,2 см та погіршення його гладкості з утворенням, так званого «текстурного ефекту» (рис. 4.6). При цьому спостерігається зниження міцності до дії зворотного удару з 50 до 20 см/кг (рис 4.3) та міцності на згин до 12 мм.

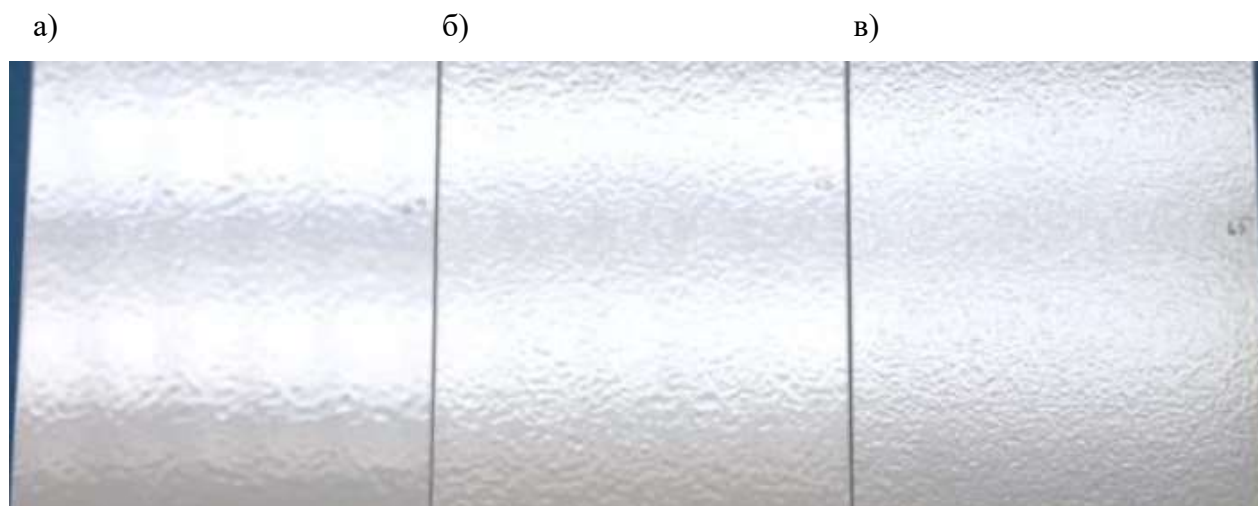


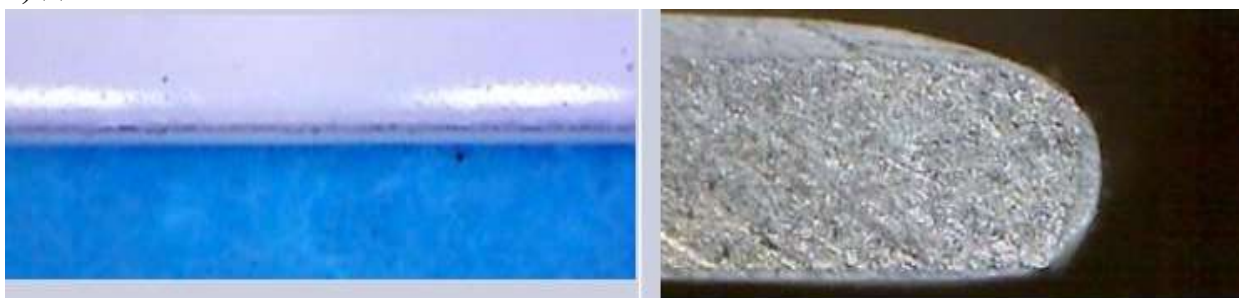
Рис. 4.6. Візуальний вигляд покриття з використанням добавки IV, %: **а)** 0; **б)** 0,5; **в)** 1,0.

Найбільш ефективним є використання комплексної добавки реологічної дії у вигляді поліакрилату адсорбованого на діоксиді кремнію та поліоксіетиленової похідної касторової олії (склад № 9 та № 12 згідно табл. 4.1), яка сприяє суттєвому зниженню поверхневого натягу, що в свою чергу сприяє підвищенню розтікання з 3,0 до 5,0 см та покращенню якості порошкового покриття порівняно з контрольним складом. Це пояснюється тим, що через відсутність розчинників в складі порошкових фарб, їх розплави мають досить високий поверхневий натяг, що може відобразитися на якості полімерного покриття. Добавки, які знижують поверхневий натяг порошкової фарби, покращують не тільки розтікання, а й зовнішній вигляд отриманого покриття при цьому перешкоджаючи утворенню дефектів.

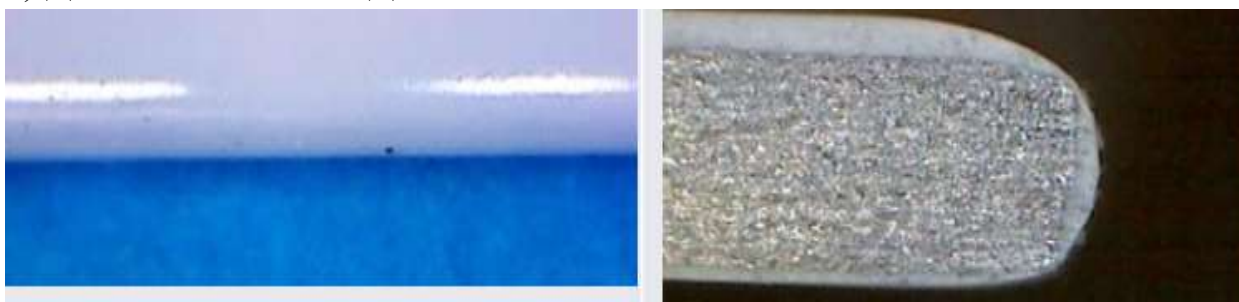
Слід відмітити, що введення до складу лакофарбових систем (склад №10

та №13 згідно табл. 4.1) комплексної добавки у вигляді поліакрилату адсорбованого на діоксиді кремнію та модифікованої бентонітової глини призводить до часткового підвищення поверхневого натягу та, відповідно, зниженню розтікання системи, що в свою чергу сприяє зростанню покривності кутів та країв металевого виробу при нанесенні покриття (рис. 4.7). При цьому використання вказаної добавки сприяє підвищенню корозійної стійкості покриття – знижується ширина корозії металу з 1,4 мм (контрольний склад) до 1,1 мм при дії сольового туману протягом 720 годин (рис.4.8). Основним недоліком використання комплексної добавки є погіршення фізико-механічних характеристик покриття – знижується міцність до дії зворотного удару та міцність на згин покриття.

а) добавка №1



б) Добавка №1 + 0,5% Добавки №3



в) Добавка №1 + 1,0% Добавки №3

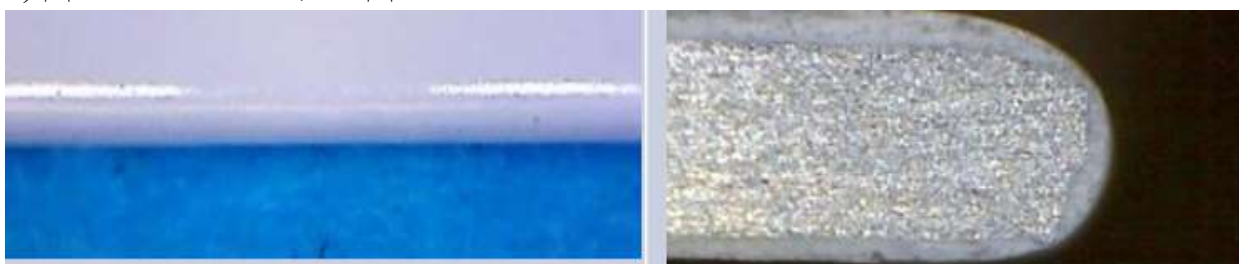


Рис. 4.7. Візуальний вигляд системи «метал – покриття» з використанням комплексної добавки у вигляді поліакрилату адсорбованого на діоксиді кремнію та модифікованої бентонітової глини в складі

систем (згідно табл. 4.1): а) склад №2; б) склад №11; в) склад №14.

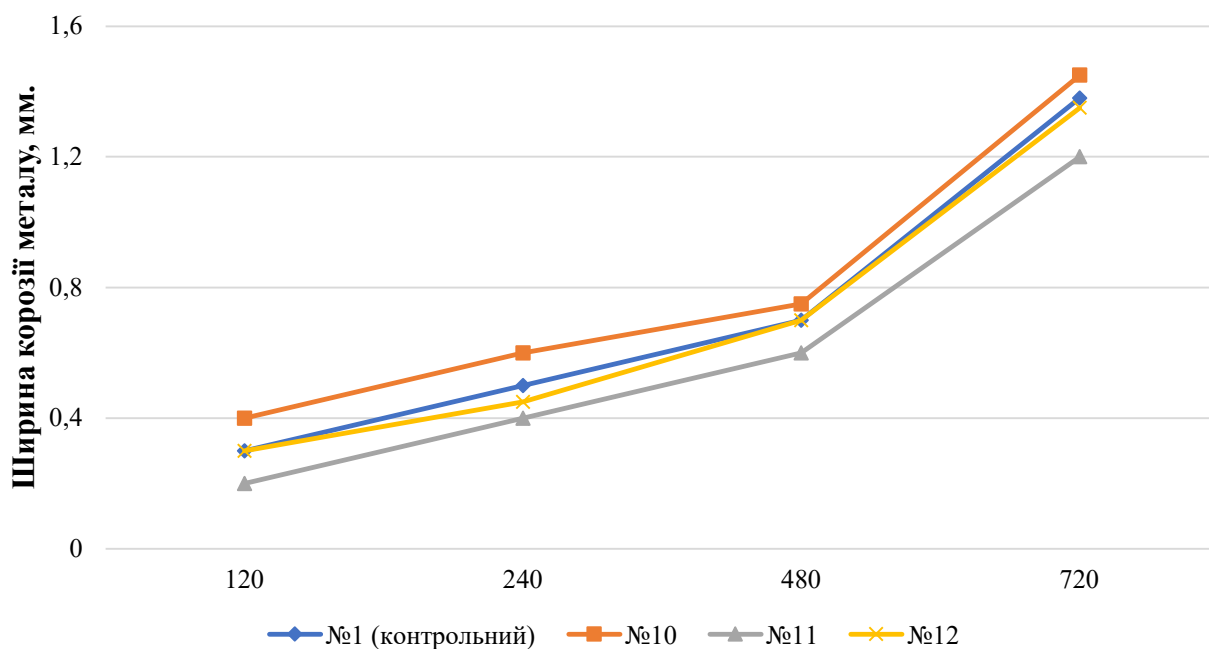


Рис. 4.8. Ширина корозії металу з використанням модифікуючих систем покриття (згідно табл. 4.1).

Таким чином використання модифікуючих добавок реологічної дії по різному впливають на формування властивостей порошкового покриття залежно від природи основної діючої речовини. Добавки на основі поліакрилату адсорбованого на діоксиді кремнію та поліоксіетилену похідного касторової олії, дозволяють знизити поверхневий натяг в плівці покриття, що в свою чергу сприяє підвищенню змочуваності основи під час процесу розтікання порошкової фарби, зменшенню ефекту «апельсинової кірки» під час фази зшивання, зниженню голчастих отворів на отриманій поверхні та підвищенню механічних властивостей покриття.

4.2. Вплив дегазаторів на формування властивостей покриття.

Для уникнення утворення мікротріщин в порошкових лакофарбових системах необхідним є видалення захопленого ними повітря під час фази плавлення в процесі структуроутворення покриття. Це пов'язано з тим, що під час фази зшивання в'язкість порошкового покриття різко зростає, що призводить до зниження виділення повітря захоплених плівкою покриття під час фази плавлення та негативно впливає на формування фізико-механічних та експлуатаційних властивостей матеріалу. Тому для отримання високої якості порошкового матеріалу доцільним є використання в їх складі добавок дегазуючої дії. В якості модифікаторів дегазації використано добавки дегазуючої дії з різною природою основної діючої речовини:

- I - модифікований гідроксікетон;
- II - модифікований поліетилен;
- III - мікронізований етилен-біс-стеарамід;
- IV - кисневмісне високомолекулярне кремнієве з'єднання.

Вказані добавки використовували у вигляді сухих порошоків і вводили в склад порошкової системи в діапазоні вмісту від 0,3 до 1 % за мас. порошкової системи. В дослідженнях використано оптимальний за даними розділу 4.1 (див. табл. 4.1) склад № 10 порошкового лакофарбового матеріалу.

Склади лакофарбових матеріалів модифікованих добавками дегазуючої дії та результати досліджень наведено в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Склади порошкових матеріалів модифікованих добавками дегазуючої дії та їх характеристики.

Склад № п/п	Вміст добавок дегазуючої дії, % за мас.				Характеристика			
	I	II	III	IV	Візуальна оцінка	Розтікання, см	Міцність до дії зворотного удару, см/кг	Міцність на згин, мм
1	-	-	-	-	—	3,0	90	10
2	0,3	-	-	-	++	3	100	8

<i>Продовження табл. 4.2</i>								
3	0,6	-	-	-	++	3,2	90	8
4	-	0.5	-	-	-	3,2	80	10
5	-	1	-	-	+	3,2	70	10
6	-	-	0.5	-	-	3,0	80	8
7	-	-	1	-	+	3,1	80	8
8	-	-	-	0.5	-	3,1	75	8
9	-	-	-	1	+	3,1	60	8
10	0,3	0.5	-	-	++	3,2	70	8
11	0,3	-	0.5	-	+++	3,3	100	5
12	0,3	-	-	0.5	+++	3,1	80	6

*Примітка: - -погано, + - задовільно, ++ - добре, +++ - відмінно

За результатами досліджень встановлено, що добавки дегазуючої дії також по різному впливають на формування властивостей (табл. 4.2) порошкового покриття залежно від природи основної діючої речовини. Так, за критерієм візуальної оцінки порошкового покриття одним з найбільш ефективним є застосування добавки на основі модифікованого гідроксікетону введення даної добавки у кількості 0,3 % за мас. сприяє зменшенню утворенню (пор, пустот) помітних візуальних дефектів та отриманню бездефектного гладкого порошкового покриття (рис. 4.9, б). Дана добавка функціонує як “твердий розчинник”, щоб утримувати плівку покриття «відкритою», досить довго, для того щоб захоплене плівкою повітря мало можливість виходити з неї під час стадії затвердіння. При цьому підвищується ударна міцність покриття до дії зворотного удару з 90 см/кг (контрольний склад) до 100 см/кг та міцності на згин (5 мм). Однак, введення даної добавки в кількості 0,6 % за мас. є неефективним, так як, викликає суттєве пожовтіння кольору покриття (рис. 4.9, в). Це може бути пов'язано з тим, що під час затвердіння порошкового покриття модифікований гідроксікетон може переходити у бензильні групи та їх похідні, що негативно впливає на зміну кольору покриття. Тому оптимальний вміст добавки в складі порошкових фарб є 0,3 % за мас.

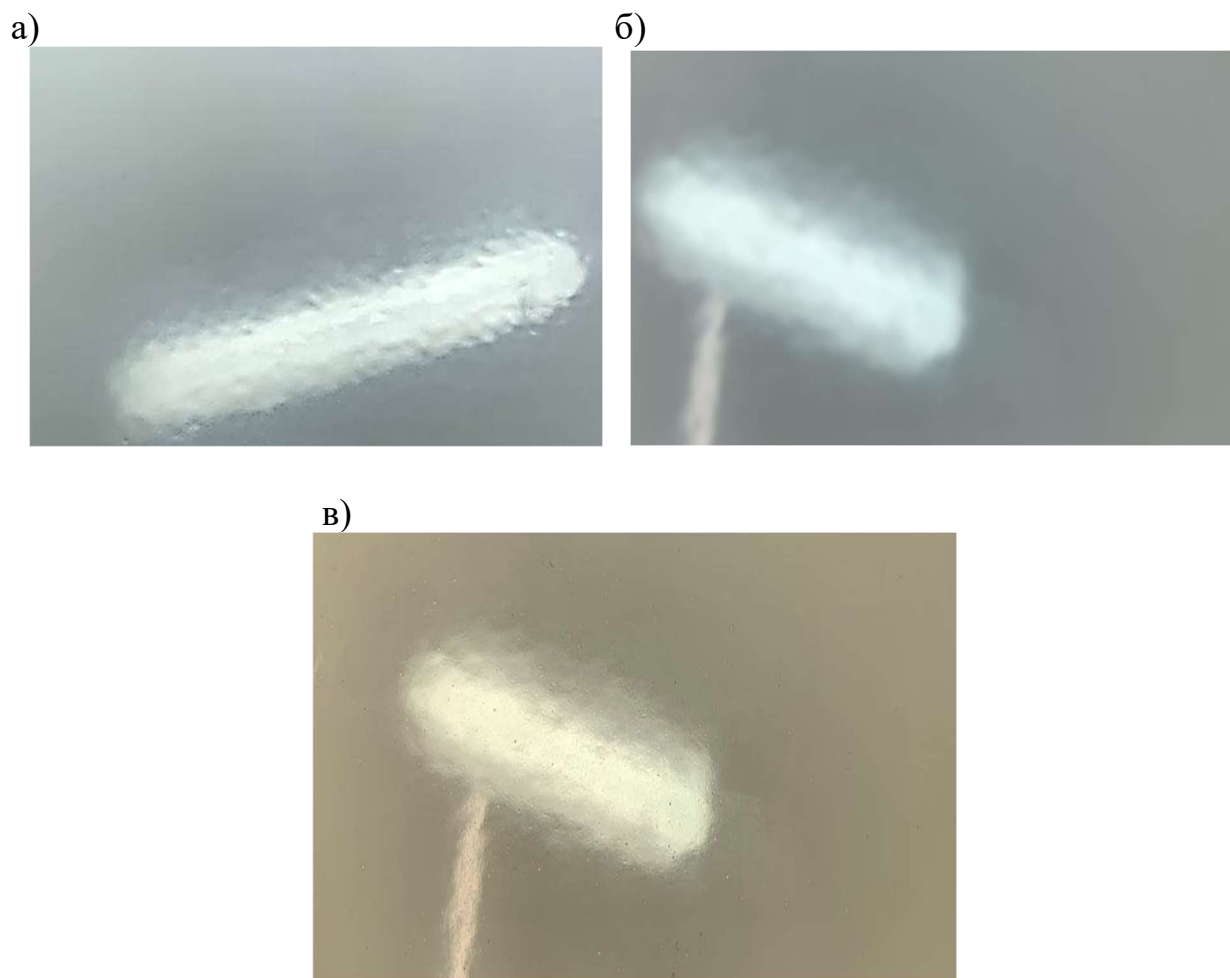


Рис. 4.9. Візуальний вигляд досліджуваних систем покриття (згідно табл. 4.2) з використанням модифікованого гідроксікетону: **а)** контрольний склад; **б)** 0,3 %; **в)** 0,6 %.

Застосування добавок на основі модифікованого поліетилену, мікронізованого етилен-біс-стеарамід та кисневмісного високомолекулярного кремнієвого з'єднання не забезпечують ефективної дії по суттєвому зменшенню утворення (пор, пустот) помітних візуальних дефектів та отриманню бездефектного гладкого порошкового покриття (рис. 4.10). При цьому спостерігається зниження ударної міцності до дії зворотного удару з 90 до 60...80 см/кг та міцності на згин до 8...10 мм (табл. 4.2).

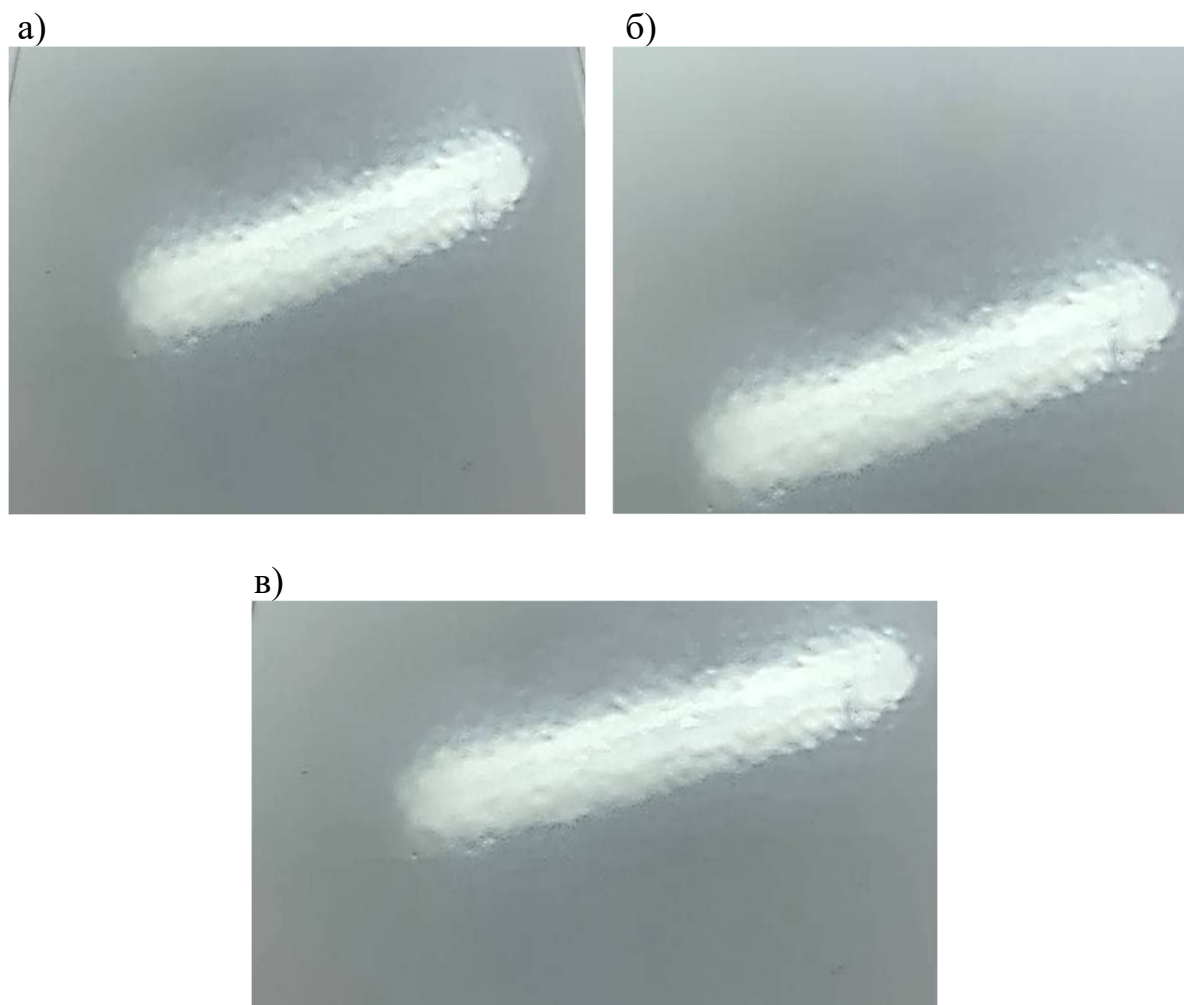


Рис 4.10. Візуальний вигляд досліджуваних систем покриття (згідно табл. 4.2) з використанням добавок у вигляді: **а)** добавка №2; **б)** Добавка №3; **в)** добавка №4

Слід відмітити, що найбільш ефективним способом отримання бездефектного гладкого порошкового покриття є використання комплексу добавок дегазуючої дії у вигляді модифікованого гідроксікетону в кількості 0,3 % та мікронізованого етилен-біс-стеараміду в кількості 0,5 %. Дане поєднання сприяє пришвидшенню процесу виходу захопленого плівкою повітря під час стадії затвердіння покриття, що забезпечує високі дегазаційні властивості системи в якій не утворюються пори та пустоти, а також відсутні голчасті дефекти. При цьому спостерігається підвищення ударної міцності покриття до дії зворотного удару з 90 до 100 см/кг та міцності на згин до 5 мм.

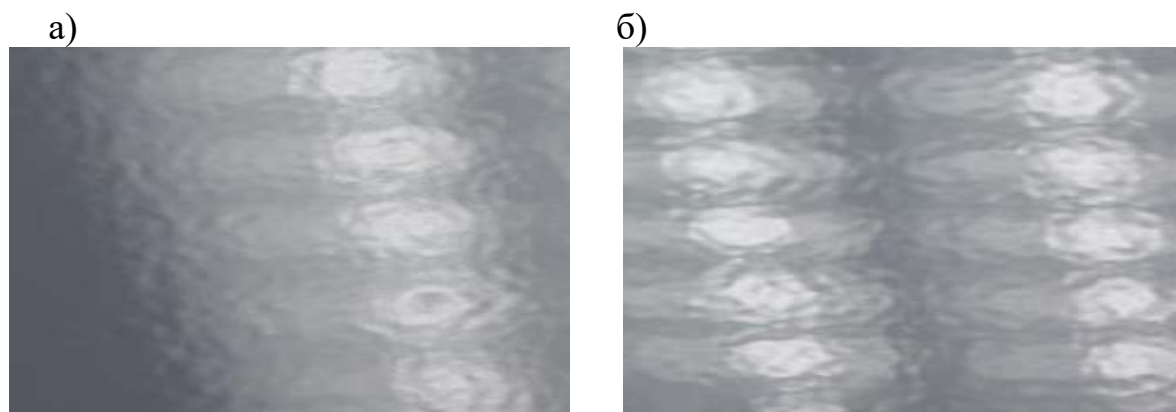


Рис. 4.11. Візуальний вигляд досліджуваних систем покриття (згідно табл. 4.2) з використанням комплексної добавки у вигляді: а) Benzoin + Ceraflour 962; б) Benzoin + Ceretan MA 7019.

Таким чином виявлено, що добавки дегазуючої дії на основі гідроксикетону адсорбованого на діоксиді кремнію у вигляді та мікронізованого етилен-біс-стеараміду сприяють пришвидшенню процесу виходу захопленого плівкою повітря під час стадії затвердіння покриття, що забезпечує суттєве зменшення утворенню пор, пустот порошкової системи. В той час, як введення добавок дегазуючої дії на основі модифікованого поліетилену у вигляді Ceraflour 962 та кисневмісного високомолекулярного кремнієвого з'єднання у вигляді Powderadd 9423 не забезпечують ефективною дію по суттєвому зменшенню утворення (пор, пустот) помітних візуальних дефектів та отриманню бездефектного порошкового покриття.

4.3. Вплив модифікуючих добавок у вигляді мікронізованих восків на формування властивостей покриття.

Термін «віск» насправді не описує клас хімічних речовин. Швидше, це збірний термін для всіх видів матеріалу, які мають типові властивості воску. В системах фарбування віск може підвищити міцність покриття, забезпечувати підвищену стійкість до подряпин та стирання, а також сприяти підвищенню диспергування компонентів лакофарбового матеріалу. Тому для визначення їх

впливу на формування механічних властивостей плівки порошкового покриття та її стійкості до пошкоджень під час експлуатації було обрано добавки різної природи основної діючої речовини у вигляді:

I – Поліетиленово-гідрокарбоний віск;

II – Політетрафторетиленовий віск;

III - Поліетиленово-амідний віск.

В дослідженнях використано оптимальний за даними розділу 4.2 (див. табл. 4.2) склад № 11 порошкового лакофарбового матеріалу.

Склади лакофарбових матеріалів модифікованих добавками дегазуючої дії та результати досліджень наведено в табл. 4.3.

Таблиця 4.3

Склади модифікованих поліетиленовими восками порошкових лакофарбових матеріалів та їх характеристики.

Склад № п/п	Вміст добавок, % за мас.			Характеристика			
	I	II	III	Твердість покриття	Блиск покриття, °	Міцність до зворотного удару см/кг	Міцність на згин, мм
1	-	-	-	В	+++	90	6
2	0.2	-	-	Н	+++	90	6
3	-	0.2	-	Н	+++	90	6
4	-	-	0.2	Н	+++	95	6
5	0.5	-	-	2Н	++	95	5
6	-	0.5	-	2Н	++	90	5
7	-	-	0.5	2Н	++	95	5
8	1.0	-	-	3Н	++	100	5
9	-	1.0	-	4Н	++	100	5
10	-	-	1.0	4Н	+++	110	5

*Примітка: – погано, + - задовільно, ++ - добре, +++ - відмінно

За результатами досліджень (рис 4.12) показано, що введення добавки на основі поліетиленово-гідрокарбонного воску добавка №1 сприяє підвищенню міцності до дії зворотного удару з 90 (контрольний склад) до 100 см/кг (рис. 4.12) та зростанню твердості покриття з показника В до 2Н (рис. 4.14).

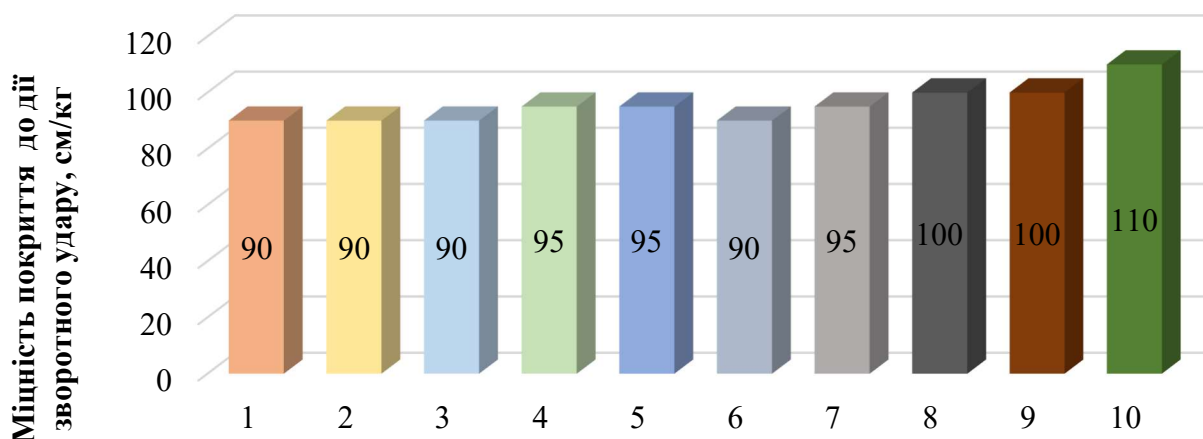


Рис 4.12 Міцність досліджуваних систем покриття (згідно табл. 4.3) до дії зворотного удару.

Введення модифікуючої добавки на основі політетрафторетилену (PTFE) добавка №2 сприяє частковому підвищенню міцності покриття до дії зворотного удару до 95 см/кг (рис. 4.12) та міцності на витягування покриття до 5 мм (рис. 4.13). Найбільш ефективним є використання вказаної добавки для суттєвого підвищення твердості покриття з показника В до 4Н (рис. 4.14). Це пов'язано з тим, що політетрафторетилен являє собою твердий фторвуглевод, який характеризується низьким коефіцієнтом тертя за рахунок чого підвищується ковзання покриття та його твердість.

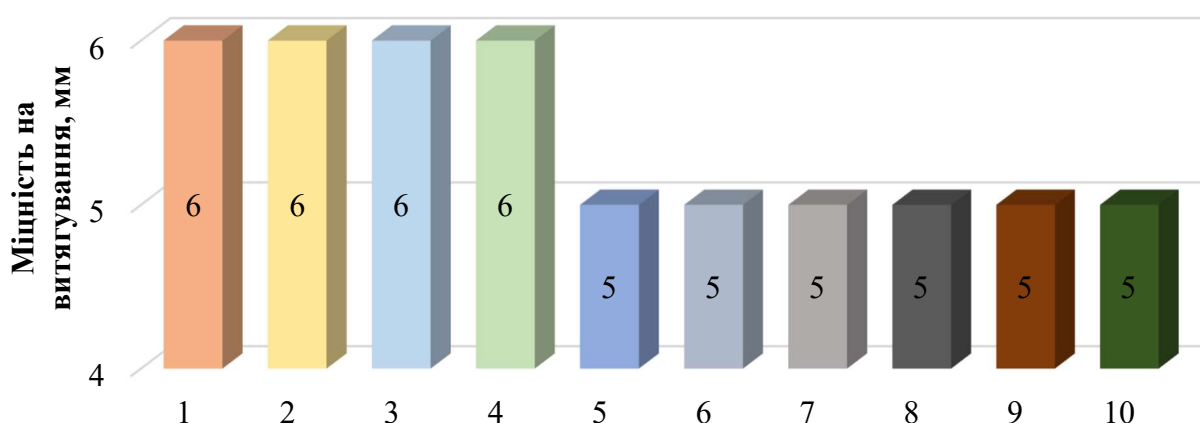


Рис 4.13 Міцність на витягування досліджуваних систем покриття (згідно табл. 4.3).

Застосування добавки №3 на основі поліетиленово-амідного воску сприяє найбільшому зростанню міцності до дії зворотного удару покриття з 90 до 110

см/кг (рис 4.12) серед всіх досліджуваних систем. При цьому спостерігається підвищення міцності на витягування покриття до 5 мм, а також зростання твердості покриття з показника В до 4Н.

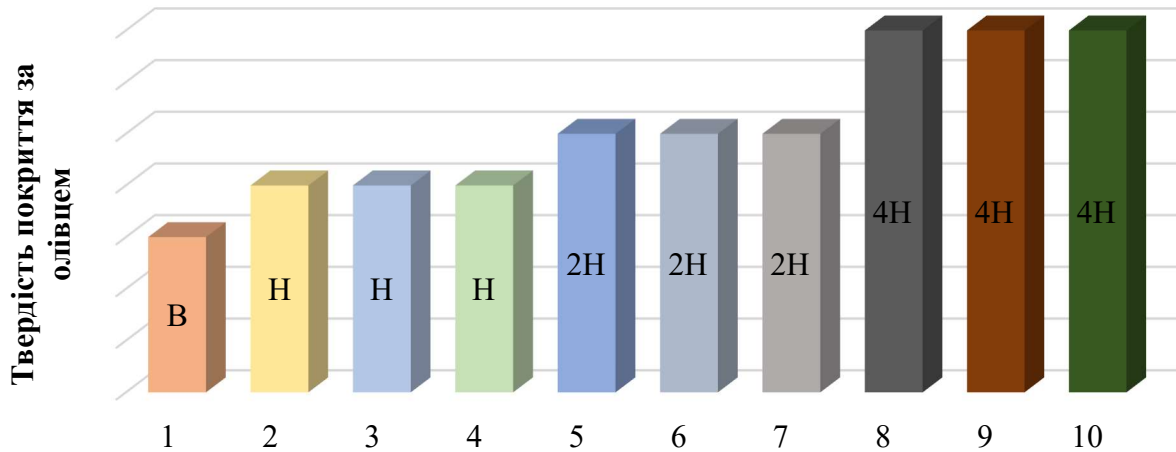


Рис 4.14 Твердість досліджуваних систем покриття (згідно табл. 4.3) за олівцем.

Таким чином, для підвищення механічних властивостей порошкового лакофарбового матеріалу найбільш ефективним є використання модифікованого поліетиленово-амідного воску у вигляді добавки №3. Його використання сприяє суттєвому зростанню міцності до дії зворотного удару, міцності на витягування та твердості покриття.

4.4. Корозійна стійкість порошкових лакофарбових матеріалів з використанням інгібіторів корозії.

Одним з перспективних напрямків підвищення корозійної стійкості порошкових лакофарбових матеріалів є додаткове застосування в їх складі нових екологічно безпечних і ефективних добавок у вигляді антикорозійних пігментів.

В якості антикорозійних пігментів використано добавки різної природи:

I - Фосфат цинку у вигляді **PZW2**.

II - Комбінований фосфосилікат кальцію та стронцію у вигляді **Nubirox 301**.

III - Іонообмінний аморфний силікогель у вигляді **Shieldex C303**.

В дослідженнях використано оптимальний за даними розділу 4.2 (див. табл. 4.2) склад № 11 порошкового лакофарбового матеріалу.

Склади лакофарбових матеріалів модифікованих з використанням інгібіторів корозії та результати досліджень наведено в табл. 4.4.

Таблиця 4.4

Склади досліджуваних систем з використанням модифікуючих добавок та їх корозійна стійкість.

Склад № п/п	Вміст антикорозійних пігментів, %. за мас.			Корозійна стійкість досліджуваних систем при дії сольового туману протягом, год			
				720		1440	
	I	II	III	Ширина відшарування покриття, мм	Ширина корозії металу, мм	Ширина відшарування покриття, мм	Ширина корозії металу, мм
1	-	-	-	2,13	1,38	2,6	1,9
2	5	-	-	1,9	1,2	2,4	1,7
3	-	5	-	2,15	1,8	3,1	3,1
4	-	-	5	1,1	0,78	2,1	1,4

За результатами досліджень виявлено, що використання антикорозійних пігментів по різному впливають на стійкість порошкового покриття до корозії. Це зумовлено їх різною природою та здатністю до перенесення структуроутворюючих іонів до поверхні металу, що сприяє зміні анодного та катодного або одночасно обох процесів електрохімічної корозії. Так, модифікації порошкової системи пігментом на основі фосфату цинку призводить до зменшення ширини корозії металу з 1,9 мм до 1,7 мм після 1440 год дії сольового туману (рис. 4.15), що на 17 % вище в порівнянні з контрольним складом №1. Це може бути пов'язано з процесом дисоціації фосфатів під дією води яка проникає в покриття з утворенням комплексної кислоти, що сприяє сповільненню процесів електрохімічної корозії:



Слід зазначити, що при 240 год. випробування покриття при дії сольового туману система з використанням фосфату цинку характеризується схожими показниками ширини корозії металу (рис 4.15) та відшаруванням покриття (рис. 4.16) в порівнянні з контрольним складом. Це пов'язано із низькою ефективністю

фосфатних пігментів до сповільнення формування корозійних процесів на початкових етапах.

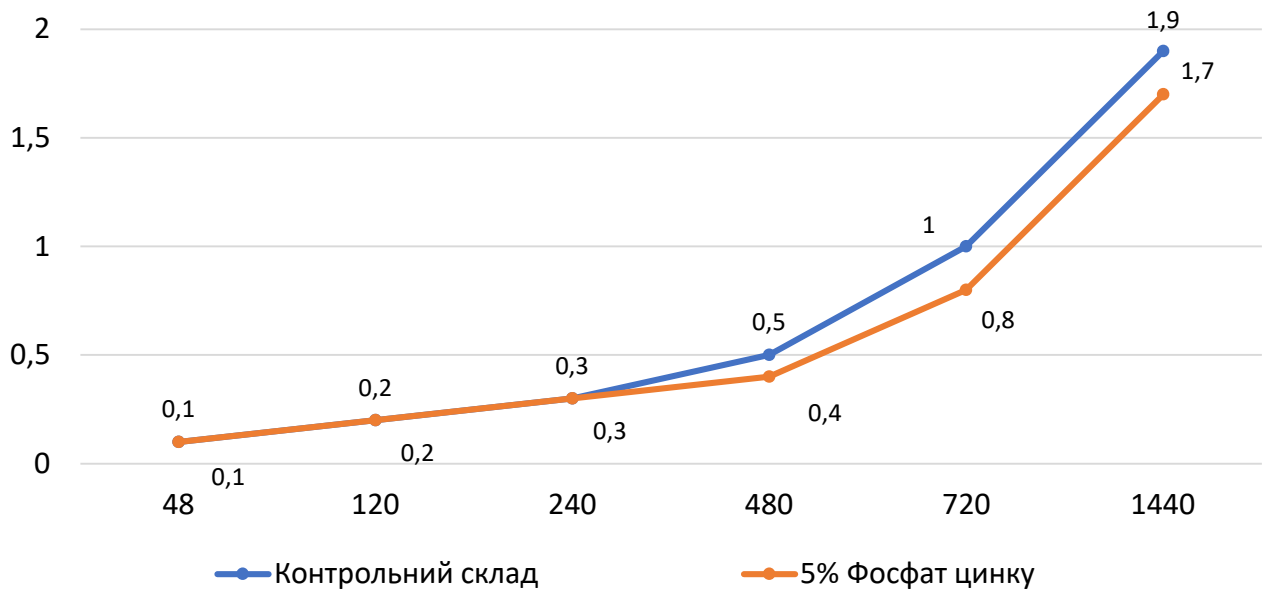


Рис 4.15. Ширина корозії металу з використанням досліджуваної системи модифікованої фосфатом цинку.

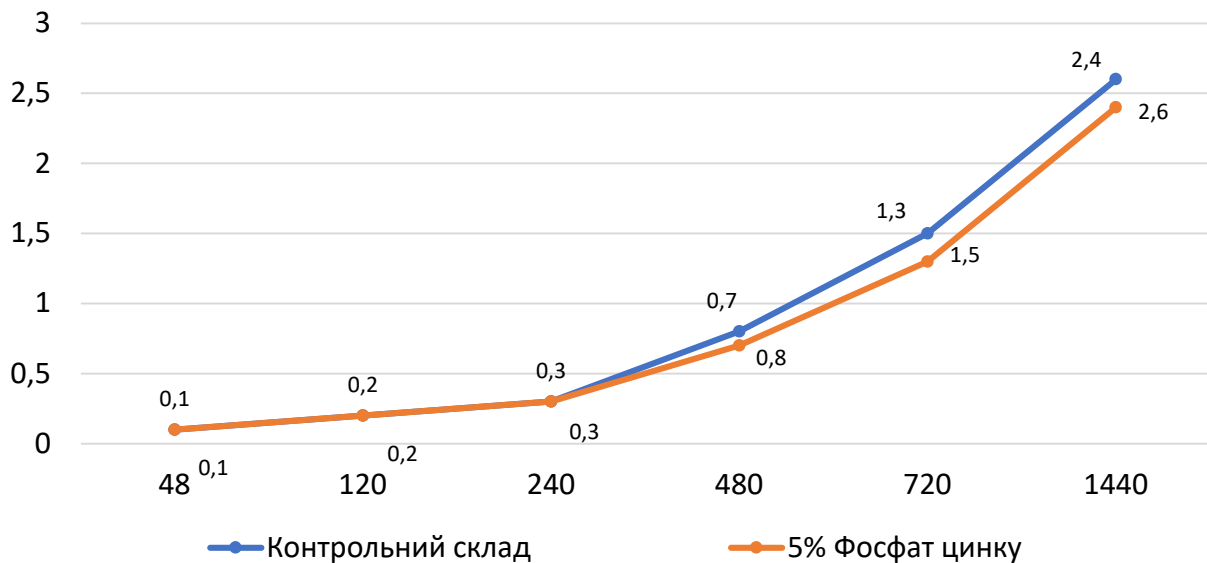


Рис 4.16. Ширина відшарування системи покриття модифікованої фосфатом цинку.

Використання антикорозійного пігменту на основі фосфосилікату кальцію та стронцію призводить до протилежного ефекту – збільшення корозії металу та відшарування покриття. Виявлено, що ширина відшарування покриття

модифікованого даним антикорозійним пігментом збільшується з 1,3 мм до 1,8 мм після 720 годин дії сольового туману, а при 1440 год. ширина відшарування покриття збільшується на 33 % в порівнянні з контрольним складом (рис 4.17). При цьому зростає ширина корозії металу з 1,9 до 3,1 мм після 1440 годин дії сольового туману (рис. 4.18), що визначає вказаний антикорозійний пігмент, як неефективний. Це спричинено тим, що пігмент на відміну від водорозчинних систем (у яких він рівномірно змішується з системою та утворює на поверхні металу комплекс нерозчинних фосфатів кальцію та стронцію які зупиняють міграцію катіонів заліза з аноду, а також впливають на константу дисоціації та змінюють рН системи) не може рівномірно диспергуватися в порошковій системі в наслідок чого об'ємна концентрація пігменту в системі покриття розподілена нерівномірно, що в свою чергу призводить до погіршення антикорозійних характеристик матеріалу.

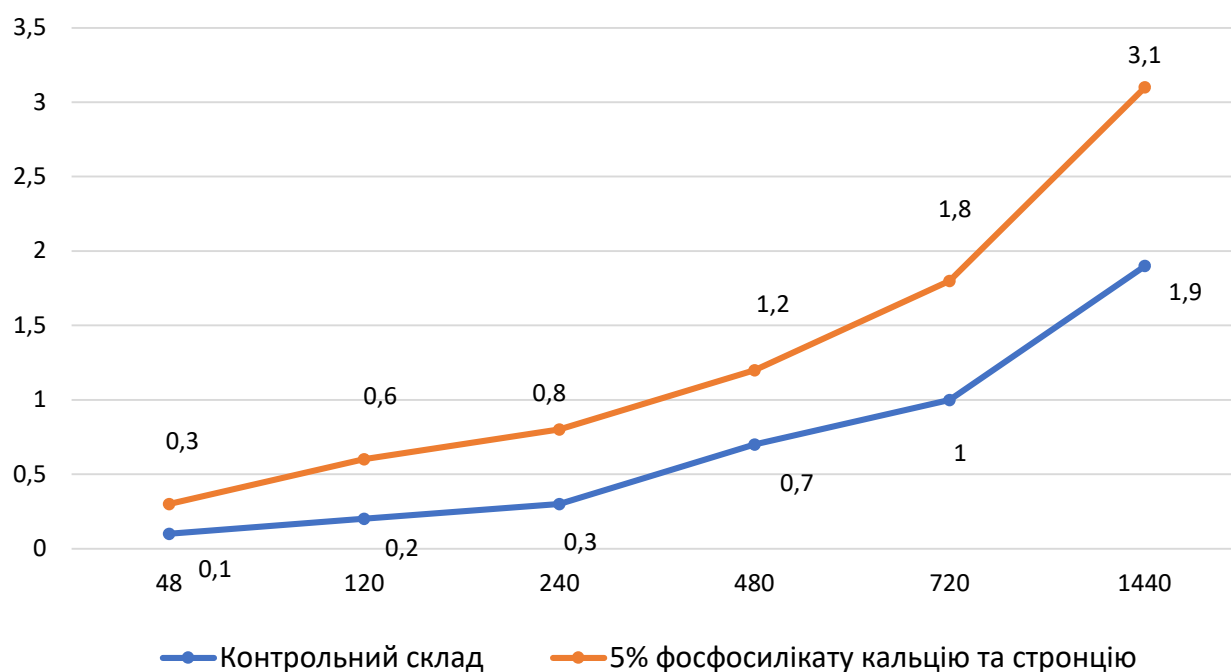


Рис 4.17. Ширина корозії металу з використанням досліджуваної системи модифікованої фосфосилікатом кальцію та стронцію.

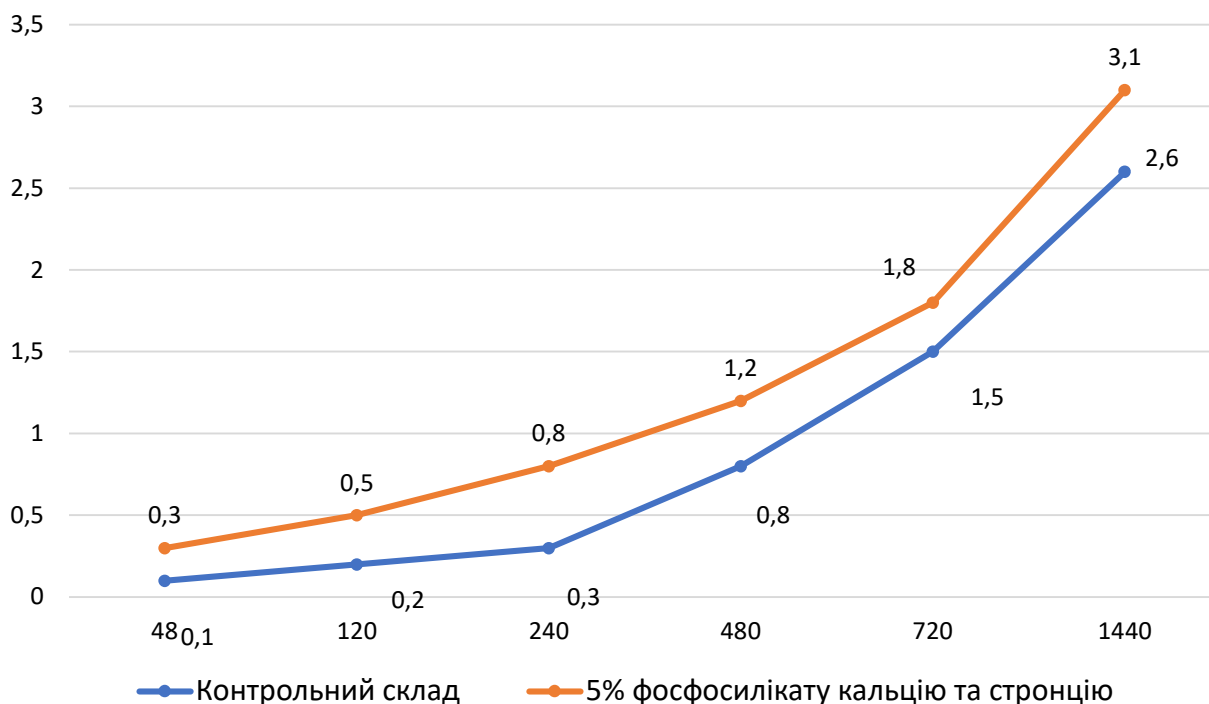


Рис 4.18. Ширина відшарування системи покриття модифікованої фосфосилікатом кальцію та стронцію.

Введення до складу системи антикорозійного пігменту на основі іонообмінного аморфного силікогелю сприяє зниженню корозії металу з 1,38 до 0,78 мм після 720 годин дії сольового туману, а також з 1,9 до 1,4 мм після 1440 год, що на 44 та 63 %, відповідно, є меншим порівняно з контрольним складом (рис. 4.23). Це можна пояснити тим, що даний пігмент в складі порошкової системи під час контакту з корозійним середовищем починає виконувати дві функції – адсорбує агресивні іони та утворює захисний молекулярний шар на поверхні субстрату (рис 4.25). Атоми заліза окислюються до іонів двовалентного заліза (Fe^{2+} - 1a) і можуть в подальшому окислюватися до іонів тривалентного заліза (Fe^{3+}) в точці анодної корозії. Завдяки проникності кисню і води до органічних покриттів, які присутні на кордоні розділу покриття/метал, відбувається реакція відновлення кисню до іонів (OH^- - 1b). Залежно від показника лужності лакофарбового покриття кремнезем може розчинятися як кремнієва кислота або силікат-іони (2a). Ця розчинна фракція пігменту може вступати в реакцію з іонами двовалентного і (або) тривалентного заліза (3a) на

кордоні розділу покриття/метал. В результаті реакції формується захисний шар (4a). Паралельно цій реакції з поверхні кремнезему відбувається звільнення катіонів (2b), які в результаті побічної реакції з розчинним кремнеземом (3b) можуть утворювати силікатну плівку на поверхні металу.

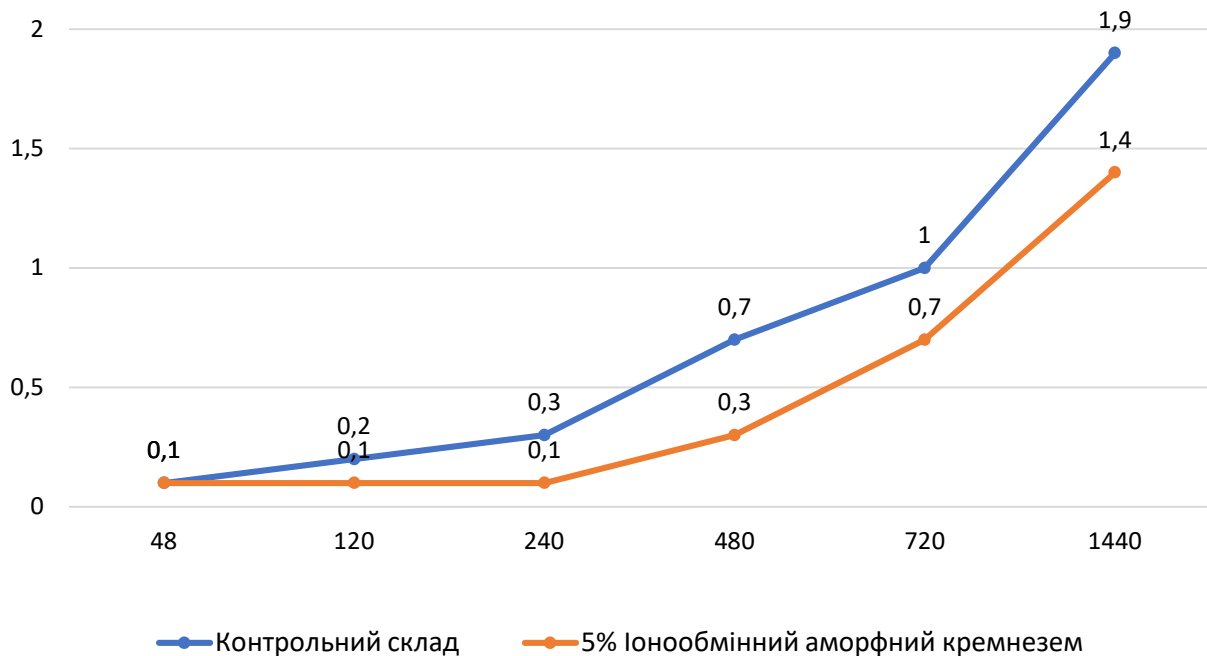


Рис 4.23. Ширина корозії металу модифікованого іонообмінним аморфним кремнеземом.

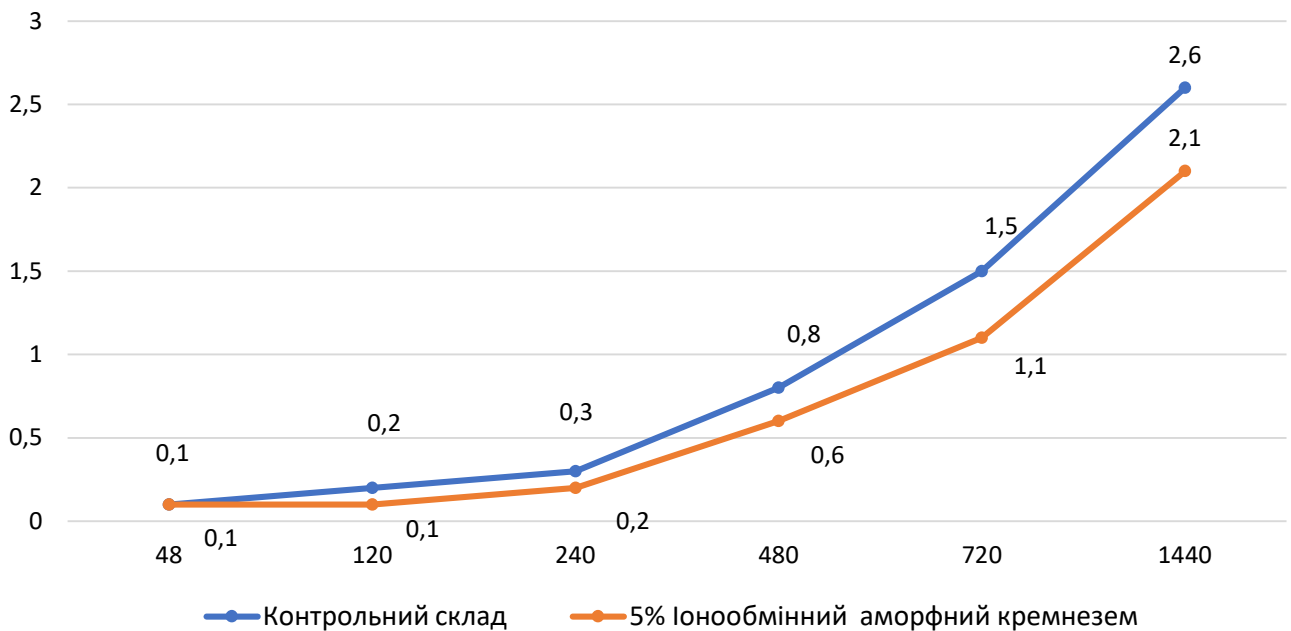


Рис 4.24. Ширина відшарування покриття модифікованого іонообмінним аморфним кремнеземом.

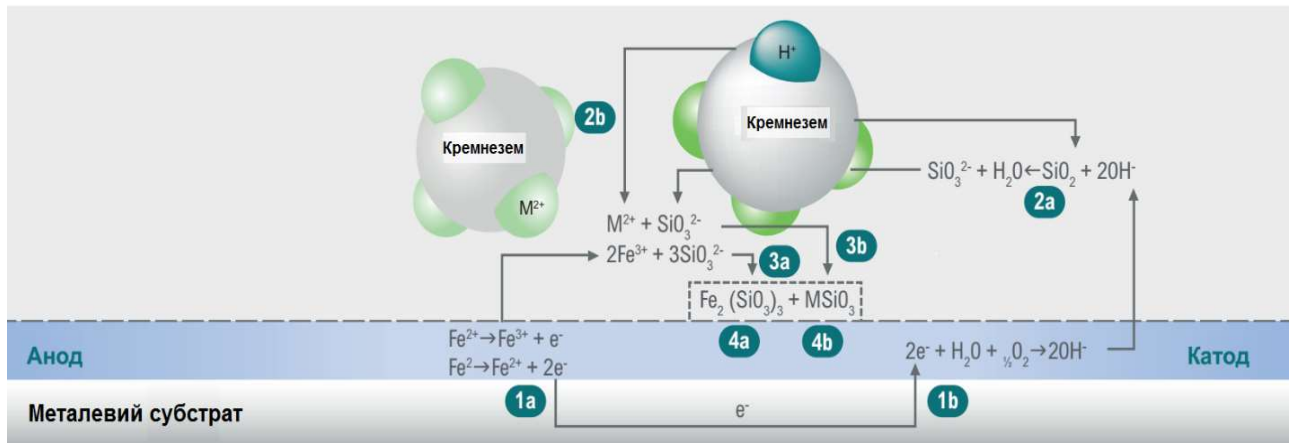


Рис 4.25. Схема антикорозійного захисту з використанням іоннобміного аморфного кремнезему

За результатами досліджень встановлено, що введення до складу порошкової системи антикорозійного пігменту на основі іонообмінного аморфного силікогелю сприяє підвищення корозійної стійкості покриття на 20...25 % порівняно з контрольним складом. При цьому отримана порошкова лакофарбова система відповідає корозійній категорії класу **C5 (дуже висока)** при забезпеченні високого класу довговічності (H) від 15 до 25 років. Прикладами типового середовища (згідно ДСТУ ISO 12944-2:2019) де можуть експлуатуватись отримані покриття є промислові райони з високою вологістю і агресивною атмосферою, а також прибережні райони з високою солоністю.

4.5. Стійкість порошкового лакофарбового матеріалу до статичної дії агресивних рідин.

Оцінити захисні властивості отриманих порошкових лакофарбових матеріалів в навколишньому середовищі можна не лише за визначенням стійкості при дії сольового туману, а й за допомогою випробувань стійкості покриття до дії інших агресивних хімічних рідин. Дані випробування дають можливість оцінити зміну захисних властивостей полімерного шару покриття під дією агресивних рідин та втрату їх корозійних характеристик. В якості основних агресивних рідин використано:

I – 8 % розчин оцтової кислоти (CH_3COOH);

II – 40 % розчин сірчаної кислоти (H_2SO_4);

III – 30 % розчин соляної кислоти (HCl);

IV – 30 % розчин азотної кислоти (HNO_3);

V – індустріальна олива.

В дослідженнях використано оптимальний за даними розділу 4.2 (див. табл. 4.2) склад № 11 порошкового лакофарбового матеріалу.

Результати досліджень стійкості порошкового лакофарбового матеріалу до статичної дії агресивних рідин наведено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5.

Результати досліджень стійкості покриттів до дії рідин.

Система	Рідина				
	H_2SO_4	HCl	HNO_3	CH_3COOH	Індустріальна олива
Склад №11 (згідно розділу 4.2, табл. 4.2)	+++	+++	+++	+++	+++
Контрольний склад (акрилове покриття)	++	+	+	++	+++

*Примітка: – погано, + - задовільно, ++ - добре, +++ - відмінно

Виявлено, що покриття контрольного складу «акрилового покриття» через одну годину при дії 8 % розчину оцтової кислоти (CH_3COOH) характеризується зміною блиску покриття в місці випробування з 22° до 10° та помутнінням

поверхні (рис.4.26, а), що визначає стійкість вказаного покриття до дії CH_3COOH , як неефективним. В свою чергу на поверхні порошкового покриття при дії 8 % розчину оцтової кислоти, змін не виявлено (рис.4.26, б).

а)



б)



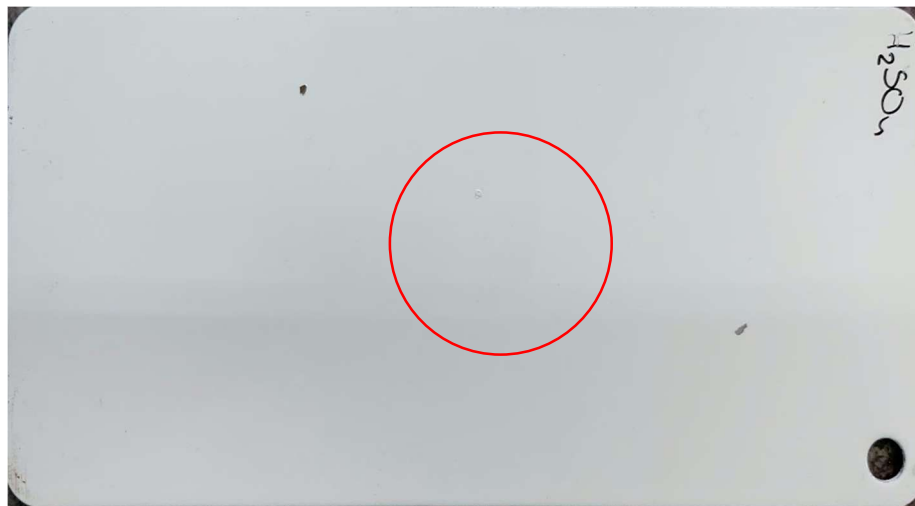
Рис. 4.26. Візуальний вигляд поверхні покриттів (згідно табл. 4.5) через 1 годину дії 40 % розчину сірчаної кислоти: а) контрольний склад «акрилове покриття»; б) Склад №11.

При дії 40 % розчину сірчаної кислоти (H_2SO_4), жодних змін на поверхні досліджуваних покриттів не виявлено, блиск залишається не змінним – 22 % для контрольного складу, 68 % для порошкового покриття (рис. 4.27).

Виявлено, що при дії 30 % розчину соляної кислоти (HCl), змін на поверхні полімерного шару порошкового покриття не виявлено (рис. 4.28, б), що визначає його високу ефективність. В свою чергу, на поверхні покриття на основі

контрольного складу «акрилового покриття» при дії 40 % розчину соляної кислоти, спостерігається наявність кратерів та отворів (рис. 4.28, а), розм'якшення захисного шару, помутніння та зниження блиску покриття з 22 % до 6 %, а також виявлено процес корозії металу.

а)



б)

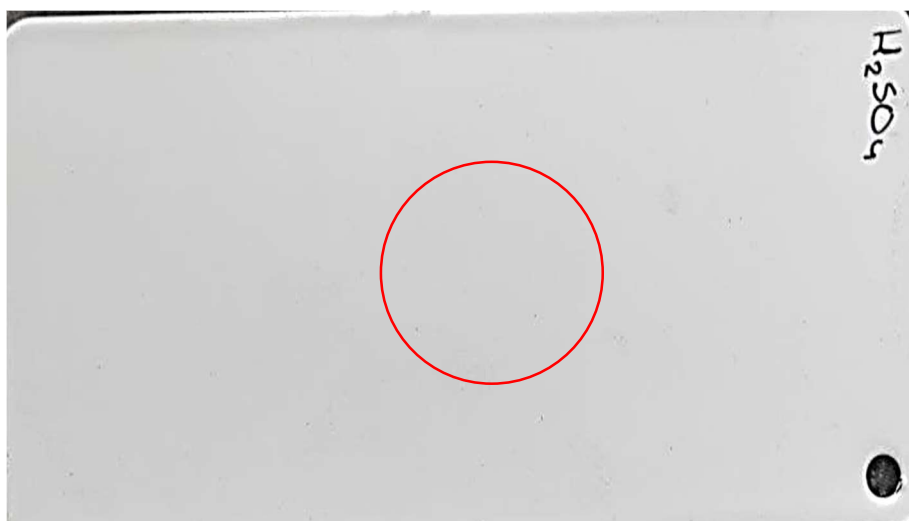


Рис. 4.27. Візуальний вигляд поверхні покриттів (згідно табл. 4.5) через 1 годину дії 40 % розчину сірчаної кислоти: а) контрольний склад «акрилове покриття»; б) Склад №11.

а)



б)



Рис. 4.28. Візуальний вигляд поверхні покриттів (згідно табл. 4.5) через 1 годину дії 30 % розчину соляної кислоти: а) контрольний склад «акрилове покриття»; б) Склад №11.

Покриття на основі контрольного складу через 1 годину дії 40 % розчину азотної кислоти (HNO_3) характеризується спученням поверхні в місці контакту агресивної рідини, зміною кольору та зниженням блиску покриття з 22 % до 10 % (рис. 4.29, а). В свою чергу на поверхні порошкового покриття при дії розчину азотної кислоти змін не виявлено, що визначає його високу ефективність (рис. 4.29, б).

а)



б)

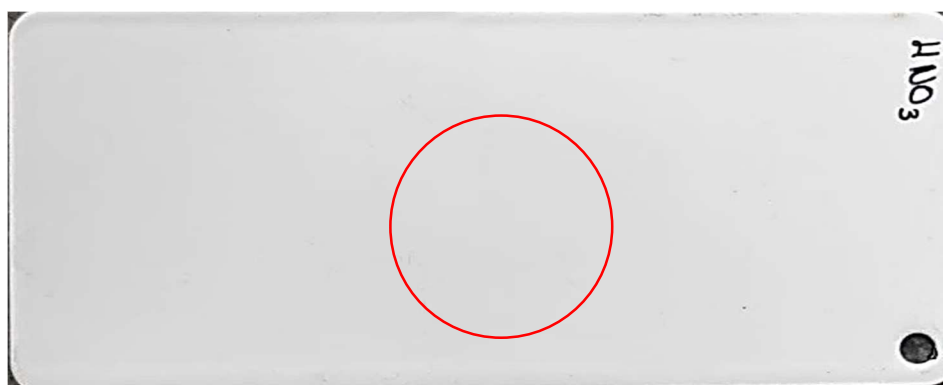


Рис. 4.29. Візуальний вигляд поверхні покриттів (згідно табл. 4.5) через 1 годину дії 40 % розчину азотної кислоти: а) контрольний склад «акрилове покриття»; б) Склад №11.

При дії індустріальної оливи, жодних змін на поверхні досліджуваних покриттів не виявлено, блиск залишається не змінним – 22 % для контрольного складу, 68 % для порошкового покриття (рис. 4.30).

а)



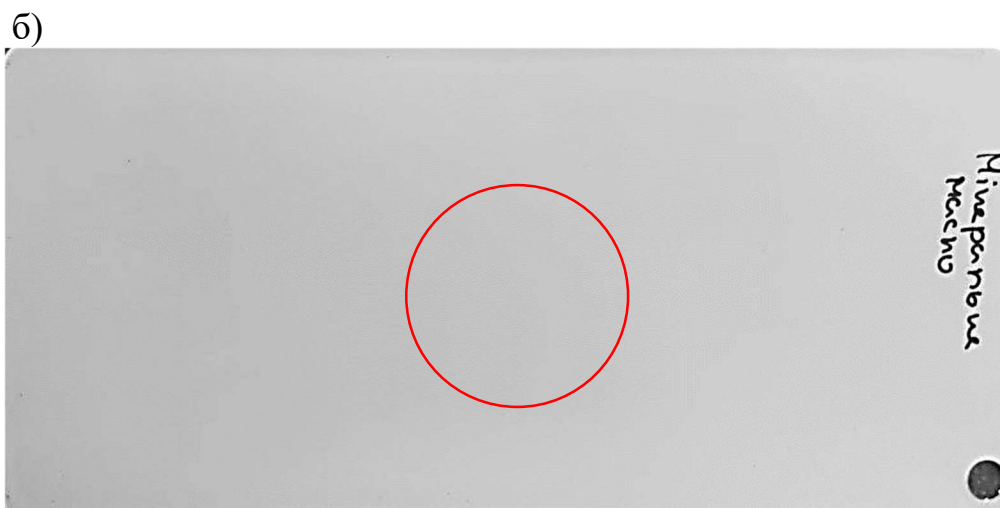


Рис. 4.30. Візуальний вигляд поверхні покриттів (згідно табл. 4.5) через 1 годину дії індустріальної оливи: а) контрольний склад «акрилове покриття»; б) Склад №11.

За результатами досліджень встановлено, що стійкість порошкового лакофарбового матеріалу до дії агресивних рідин є вищою порівняно з традиційним антикорозійним покриттям на основі рідкої фарби. Порошкове лакофарбове покриття характеризується високими показниками опору до дії кислот та мінеральних мастил та може витримувати вплив агресивної дії рідин протягом тривалого часу в порівнянні з традиційним рідким антикорозійним лакофарбовим покриттям на поверхні якого спостерігається спучення поверхні, утворення кратерів та отворів, а також зміна кольору та блиску покриття.

Отриманий порошковий лакофарбовий матеріал, що відзначається високою стійкістю до статичної дії агресивних рідин може бути ефективно використаний як захисне покриття для будівельних металевих виробів та конструкцій які будуть експлуатуватись в умовах високої хімічної агресивності середовища.

4.6. Ефективність модифікації порошкових лакофарбових матеріалів.

Аналіз результатів досліджених фізико-механічних характеристик порошкових лакофарбових матеріалів (розділ 3...розділ 4) свідчать про те, що

За результатами досліджень встановлено, що контрольна порошкова система на основі плівкоутворювача у вигляді карбоксилвмісної поліефірної смоли Allnex 2618-3T та наповнювача у вигляді метакаоліну відповідає корозійній категорії C4 при збереженні високої довговічності 15-25 років. В той же час, модифікація порошкової системи комплексом добавок на основі реологічної-дегазуючої та антикорозійної дії підвищує захист покриття до категорії корозійної стійкості C5 (який є найвищим класом категорії корозійної агресивності у відповідності до ДСТУ ISO 12944-2:2019) при забезпеченні високого класу довговічності (H) від 15 до 25 років, що підтверджує ефективність використання досліджуваних модифікуючих добавок в складі порошкових лакофарбових матеріалів.

Прикладами типового середовища (згідно ДСТУ ISO 12944-2:2019) де можуть експлуатуватись модифіковані порошкові лакофарбові матеріали є в промислових районах з високою вологістю, і агресивною атмосферою, а також прибережних районах з високою солоністю.

4.7. Висновок по розділу 4

1. Встановлено можливість управління реологічними властивостями порошкових лакофарбових, шляхом їх модифікації комплексною добавкою у вигляді поліакрилату та поліоксіетиленової похідної касторової олії, яка сприяє зниженню поверхневого натягу, що в свою чергу підвищує розтікання, покращує якість поверхні порошкового покриття та підвищує механічні властивості матеріалу. При цьому модифікації комплексно добавкою у вигляді поліакрилату та бентонітової глини призводить до підвищення поверхневого натягу та, відповідно, зниженню розтікання системи, що в свою чергу сприяє зростанню покривності кутів та країв металевого виробу при нанесенні покриття із підвищенням корозійної стійкості матеріалу.

2. Виявлено можливість управління структурою порошкових лакофарбових матеріалів шляхом їх модифікації комплексною добавкою

дегазуючої дії на основі гідроксікетону адсорбованого на діоксиді кремнію та мікронізованого етилен-біс-стеараміду, яка сприяє пришвидшенню процесу виходу захопленого плівкою повітря під час стадії затвердіння покриття, що забезпечує підвищення щільності покриття зі зменшенням кількості пор та пустот.

3. Показано, що застосування в складі порошкового лакофарбового матеріалу мікронізованого поліетиленово-амідного воску сприяє підвищенню механічних властивостей покриття, а саме зростанню міцності до дії зворотного удару, міцності на витягування та твердості покриття.

4. Встановлено, що модифікація порошкового лакофарбового матеріалу інгібітором корозії на основі іонообмінного аморфного кремнезему призводить до підвищення корозійної стійкості покриття на 20...25 % порівняно з контрольним складом (без інгібітору).

5. Отримано склади модифікованого порошкового лакофарбового матеріалу, які характеризуються високими показниками міцності до дії зворотного удару (110 см/кг), міцності на згин (5 мм), твердістю (4Н) підвищеною корозійною стійкістю, та відповідають корозійній категорії С5 (дуже висока) при збереженні високої довговічності протягом 15...25 років.

РОЗДІЛ 5

ДОСЛІДНО-ПРОМИСЛОВЕ ВПРОВАДЖЕННЯ ПОРОШКОВОГО ЛАКОФАРБОВОГО МАТЕРІАЛУ ПІДВИЩЕНОЇ КОРОЗІЙНОЇ СТІЙКОСТІ.

5.1. Апробація можливості виробництва модифікованих порошкових лакофарбових матеріалів для захисту будівельних металевих виробів і конструкцій.

Випуск дослідної партії порошкової фарби, що містить у своєму складі 60,8 % плівкоутворювача на основі карбоксилосполученої поліефірної смоли у вигляді Crylcoat 2618-3T компанії «Allnex», 3,2 % НАА у вигляді Primid XL-552 компанії «EMS Chemicals», 20 % наповнювача у вигляді метакаоліну «Глуховецького родовища», 8,7 % рутилового пігменту у вигляді діоксиду титану (TiO₂) K-2190 «Kronos», комплексної добавки реологічної дії у кількості 1,0 % Вук-3900Р «Вук Germany» та 0,5 % Luvotix R400, комплексної добавки дегазуючої дії у кількості 0,3 % Benzoin «Tech-Power Huangshan ltd» та 0,5% Ceretan MA7019 «Munzing», 5 % інгібітору корозії у вигляді Shieldex C303 «Grace», було здійснено на виробничій лінії ТОВ «Лаковер» в травні 2021 р. загальною кількістю 100 кг. (додаток А).

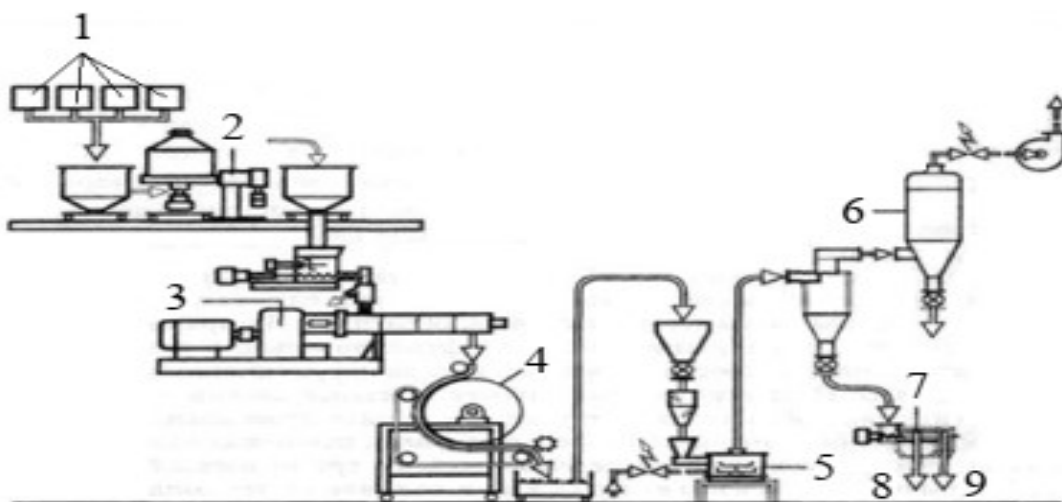
Порошкову фарбу отримано шляхом помелу напівфабрикату (чіпсів) до середнього розміру частинок фарби 42.2 мкм. Технологічну схему виготовлення порошкової фарби представлено на рис. 5.1. Порівняння основних властивостей розробленої фарби та традиційної поліефірної (контрольного складу) наведено в таблиці 5.1. Загальну схему лінії по виробництву порошкової фарби зображено на рис. 5.2.

Проведені дослідження фізико-механічних властивостей отриманих покриттів на основі випущеної порошкової фарби підтверджують ефективність її виробництва.

Акти випуску та розрахунок економічної ефективності впровадження промислової партії порошкової фарби з підвищеними антикорозійними характеристиками наведені в додатках А, Б.



Рисунок 5.1. Технологічна схема виробництва порошкової фарби.



1-бункери сировинних матеріалів (плівкоутворювач, наповнювач, пігменти, функціональні добавки) , 2- попередній змішувач, 3- двухшнековий екструдер, 4-барабани охолодження, 5- молотковий млин, 6-пиловловлюючий фільтр, 7-вібрсито, 8-вихід для порошку, виготовленого згідно специфікації, 9-відсів (залишок).

Рис.5.2. Загальна схема лінії по виробництві порошкової фарби на заводі ТОВ «Лаковер».

Таблица 5.1

Технологічні властивості порошкових фарб та фізико-механічні властивості покриттів на їх основі

Властивості	Контрольний склад	Розроблений порошковий лакофарбовий матеріал
Розтікання, см	3,0	4,0
Псевдозрідження, R	130	170
Блиск, %	60	58
Твердість, за олівцем	В	2Н
Міцність до дії зворотного удару, см/кг	50	110
Міцність на згин, мм.	8	5
Міцність на витягування, мм.	4,4	7,8
Адгезія покриття.	0	0

На ТОВ "ТМ ЗАВОДЦЕНТР-СІТКА" в період з 01.02.2022 р. по 03.02.2022 р. було проведено роботи з фарбування системи огороження секційного типу «ЕКО ЗАГРАДА» (висота 2,0 м ширина 3,0 м Ø 4+3 мм) у кількості 500 штук із застосуванням розробленого порошкового лакофарбового матеріалу, отриманого на основі дослідної партії порошкової фарби на заводі ТОВ «Лаковер».

Технологічна схема фарбування системи огороження секційного типу представлено на рис 5.2. Отримані характеристики покриттів наведені в табл. 5.1. Загальний вигляд лінії фарбування системи огороження секційного типу представлено на рис 5.3. Загальний вигляд системи огороження секційного типу із застосуванням розробленого порошкового лакофарбового матеріалу представлено на рис 5.4.

Акти випуску та розрахунок економічної ефективності фарбування системи огороження секційного типу «ЕКО ЗАГРАДА» із застосуванням розробленого порошкового лакофарбового матеріалу додаються в додатках В, Д, Е

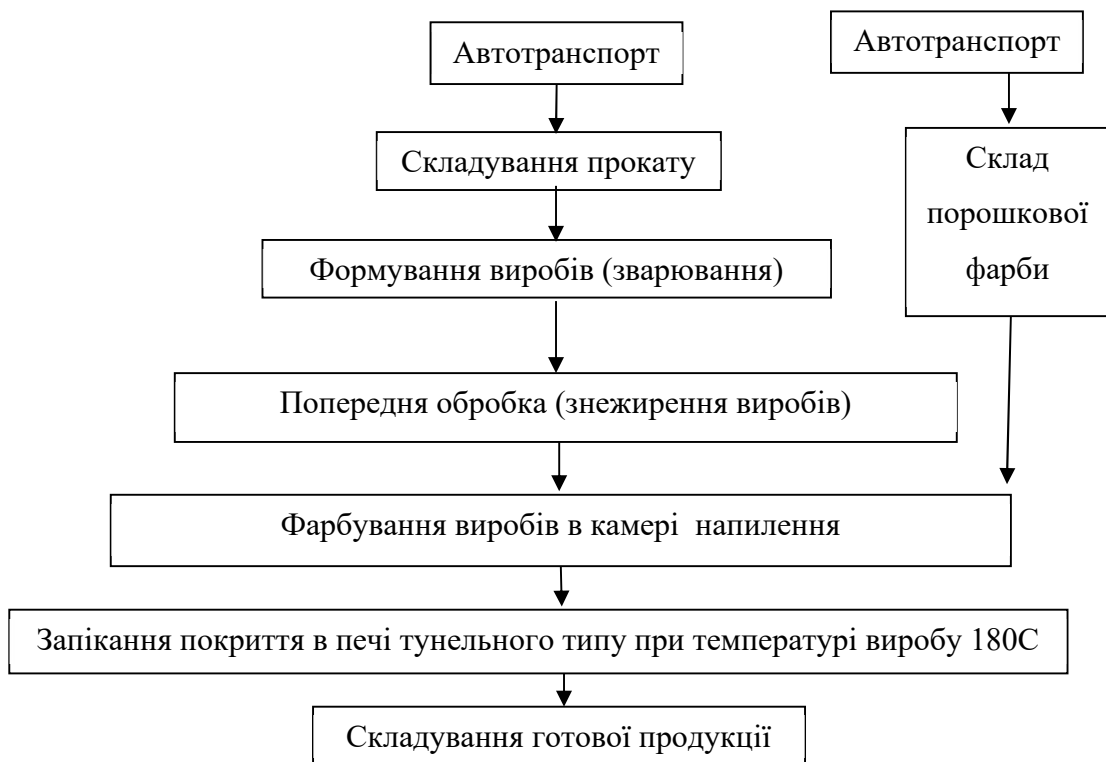


Рис 5.2 Технологічна схема фарбування системи огороження секційного типу

Таблиця 5.2

Порівняння основних характеристик отриманих покриттів

Властивості	Контрольний склад	Розроблений порошковий лакофарбових матеріал
Твердість, за олівцем	В	2Н
Міцність до дії зворотного удару, см/кг	60	90
Міцність на згин, мм.	10	5
Міцність на витягування, мм.	4,4	7,2
Адгезія покриття.	0	0
Корозійна категорія, за класом	С3	С5



Рис 5.3 Загальний вигляд лінії фарбування



Рис 5.4 Загальний вигляд системи огороження секційного типу

5.2 Висновок до розділу 5

1. Проведено апробацію випуску промислової партії розробленої порошкової фарби з підвищеними антикорозійними характеристиками
2. Проведено апробацію випуску промислової партії зовнішньої системи огороження розміром: (висота 2,0 м ширина 3,0 м \varnothing 4+3 мм) у кількості 500 штук із застосуванням розробленого порошкового лакофарбового матеріалу.
3. Підтверджена повна відповідність антикорозійним характеристикам системи огороження із застосуванням порошкового покриття з підвищеними антикорозійними характеристиками, що свідчить про їх високу ефективність і функціональність для застосування як антикорозійних покриттів для будівельних металевих виробів.

ВИСНОВКИ

1. Розроблено наукову концепцію підвищення ефективності використання порошкових лакофарбових матеріалів для антикорозійного захисту будівельних виробів і конструкцій, яка базується на забезпеченні заданих властивостей за рахунок оптимізації складових в системі «плівкоутворювач - зшиваючий агент-наповнювач» та використанні модифікуючих комплексних добавок, вибір яких залежить від хімічної природи речовини.

2. Визначено особливості формування структури порошкових лакофарбових систем, і показано, що використання системи «поліефірний плівкоутворювач – НАА» сприяє отриманню високих фізико-механічних властивостей при забезпеченні високої корозійної стійкості покриттів за рахунок забезпечення високих імпедансних характеристик, в т.ч. показників опору пор та ємнісного опору системи покриття до проходження електроліту шляхом формування низькопористої, бездефектної структури полімерної матриці при високому рівні зшивання системи покриття «і заповнення вільних просторів на межі поділу «покриття – метал» під час її затвердіння;

3. Встановлено, що використання силікатних наповнювачів у вигляді метакаоліну та тальку в складі порошкових лакофарбових матеріалів сприяють отриманню щільної, непроникної структури порошкового покриття за рахунок підвищення міжфазної взаємодії частинок наповнювачів і полімеру шляхом високої поверхневої енергії і реакційної здатності функціональних груп наповнювачів, що сприяє утворенню міцних міжфазних зв'язків в полімерній матриці, підвищує імпедансні характеристики порошкового покриття та, відповідно, забезпечує високу корозійну стійкість матеріалу.

4. Показано принципову можливість підвищення корозійної стійкості порошкового лакофарбового матеріалу шляхом введення в його склад силікатних наповнювачів у вигляді метакаоліну та тальку. Використання вказаних наповнювачів сприяє зменшенню ширини відшарування покриття та ширині корозії металу, а також класифікує покриття на їх основі до категорії

атмосферної корозійної агресивності класу С4 згідно з ДСТУ ISO 12944-2:2017 при забезпеченні довговічності покриття (Н) від 15 до 25 років у відповідності з ДСТУ ISO 12944-1:2019.

5. Розроблено та оптимізовано склади порошкового лакофарбового матеріалу з використанням системи «поліефірний плівкоутворювач – НАА – силікатні наповнювачі» за критеріями їх ефективного використання для антикорозійного захисту будівельних виробів і конструкцій при таких межах співвідношення, % за масою: поліефірний плівкоутворювач (65), НАА (5), метакаолін (25), хімічні добавки (5).

6. Встановлено можливість управління реологічними властивостями порошкових лакофарбових матеріалів, шляхом їх модифікації комплексною добавкою у вигляді поліакрилату та поліоксіетиленової похідної касторової олії, яка сприяє зниженню поверхневого натягу, що в свою чергу підвищує розтікання, покращує якість поверхні порошкового покриття та підвищує механічні властивості матеріалу. При цьому модифікації комплексно добавкою у вигляді поліакрилату та бентонітової глини призводить до підвищення поверхневого натягу та, відповідно, зниженню розтікання системи, що в свою чергу сприяє зростанню покривності кутів та країв металевого виробу при нанесенні покриття із підвищенням корозійної стійкості матеріалу.

7. Виявлено можливість управління структурою порошкових лакофарбових матеріалів із підвищенням фізико-механічних властивостей покриття шляхом їх модифікації комплексною добавкою дегазуючої дії у вигляді гідроксікетону адсорбованого на діоксиді кремнію та мікронізованого етиленбіс-стеараміду, яка сприяє пришвидшенню процесу виходу захопленого плівкою повітря під час стадії затвердіння покриття, що забезпечує підвищення щільності покриття зі зменшенням кількості пор та пустот.

8. Отримано склади модифікованого порошкового лакофарбового матеріалу, які характеризуються високими показниками міцності до дії зворотного удару (110 см/кг), міцності на згин (5 мм), твердістю (4Н) підвищеною корозійною стійкістю, та відповідають корозійній категорії С5

згідно з ДСТУ ISO 12944-2:2017 при забезпеченні довговічності покриття (Н) від 15 до 25 років у відповідності з ДСТУ ISO 12944-1:2019.

9. Здійснено випуск та проведено впровадження промислової партії порошкового лакофарбового матеріалу при отриманні дослідної партії системи огороження секційного типу «ЕКО ЗАГРАДА» пофарбованого розробленим порошковим покриттям. Економічний ефект від заміни епоксидної порошкової фарби на поліефірну порошкову фарбу складає 40.37 грн за 1 кг продукції, а при використанні її для огороження секційного типу - 5.34 грн на 1 шт виробу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Harriet Standeven, "Cover the World: A History of the Manufacture of Household Gloss Paints in Britain and the United States from the 1930s to the 1950s," *Modern Paints Uncovered*, Tate Modern, 16-19th May 2006.
2. Щодо обмеження викидів летючих органічних сполук в наслідок використання органічних розчинників у певній діяльності та установках : Директива Ради від 11.03.1999 № 1999/13/ЄС.
3. Про обмеження викидів летючих органічних сполук шляхом використання органічних розчинників у певних фарбах і лаках та продукції полірування транспортних засобів та внесення змін і доповнень до Директиви 1999/13/ЄС : Директива Європейського Парламенту та Ради від 21.04.2004 № 2004/42/ЄС.
4. R. Mafi, S. M. Mirabedini, R. Naderi, and M. M. Attar, "Effect of curing characterization on the corrosion performance of polyester and polyester/epoxy powder coatings," *Corrosion Science*, vol. 50, no. 12, pp. 3280–3286, 2008. [Бліхарський З. Я. Реконструкція та підсилення будівель і споруд. Львів: Видавництво Львівської політехніки. 2008. 107 с.
5. Улиг Г.Г., Рєви Р.У. Коррозия и борьба с ней. Введение в коррозионную науку и технику / Под. ред. А.М. Сухотина: пер. с англ.- Л.: Химия. - 1989. - 456 с.
6. C. Zanella, Writer, *Organic Coatings. [Performance]*. JTH, 2017; L. Veleva and R. Kane, "Atmospheric corrosion, *Corrosion: Fundamentals. Testing, and Protection*, Vol 13A," in *ASM Handbook- Online*, ASM International, 2003, pp. 196-209.; Решетняк О.В., Горбачевська Х.Р., Крупак І.М. Антикоровий захист металевих виробів: Лабораторний практикум // - Львів: ЛНУ імені Івана Франка. - 1999. - 42 с
7. Кривенко П.В. Будівельне матеріалознавство / П.В. Кривенко, К.К. Пушкарьова, В.Б. Барановський та ін. // Будівельне матеріалознавство: Підручник. – К.: ТОВ УВПК «ЕксОб», 2004. – 455 с.
8. Белеевский В.С., Куделин Ю.И. Защита металлов. Т. XXV. 1. 1989. с.80–85.

9. Томатов Н.Д. Теория коррозии и защиты металлов. – М.: АН СССР, 1960. – 590 с.
10. Ульянин Е. А Коррозионностойкие стали и сплавы. / Е. А Ульянин. Справочник – М.: Химия. 1995. – 213 с
11. Структура и коррозия металлов и сплавов. Атлас. Справочник. Под редакцией Е.А. Ульянина. М., Metallurgia, 1989, 232 с; Проскуркин Е.В., Геловани В.А., Сонк А.Н. Диффузионные цинковые покрытия: свойства, области применения: справочник под ред. Е.В. Проскуркина, Д.А. Сухомлина. – М.: Наука, 2017. – 310 с.
12. ГОСТ 15150-69 Машины, прилади і інші технічні вироби. Виконання для різних кліматичних районів. Категорії, умови експлуатації, зберігання і транспортування в частині дії кліматичних чинників зовнішнього середовища. 1971, 84 с.
13. ДСТУ Б В.2.6-193: 2013 Захист металевих конструкцій від корозії. Вимоги до проектування; СНиП 2.03.11-85 Защита строительных конструкций от коррозии (Захист будівельних конструкцій від корозії) / Госстрой СССР. — М.: ЦИТП Госстроя СССР. 1986. — 48 с.] та категоріями корозії [ISO 12944:2007 Paints and varnishes — Corrosion protection of steel structures by protective paint systems (Лаки і фарби. Захист від корозії сталевих конструкцій системами захисних покриттів)
14. Зрунек М. Противокоррозионная защита металлических конструкций /М. Зрунек– М.:Машиностроение, 1984.–136 с.; J. Snodgrass, "Corrosion Resistance of Aluminum Alloys, Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection, Vol 13A," in ASM Handbook - Online, ASM International, 2003, pp. 689-691; Брок Т., Гротэклаус М., Мишке П. Европейское руководство по лакокрасочным материалам и покрытиям. 2-е изд. стереотип. М.: Пэйнт-Медиа. 2007. 548 с.
15. Лаки, краски, защитные материалы. // Промышленно - строительное обозрение, № 4(94), 2006, сс. 84-89
16. Семенова И.В., Флорианович Г.М., Хорошилов А.В. Коррозия и защита от коррозии—М.: Физматлих, 2006. – 336 с.

17. ДСТУ Б В.2.6-193:2013 Защита металлических конструкций от коррозии. Требования к проектированию.
18. Волосюк В. Ф. Гаряче або холодне цинкування Електронний ресурс. - Мінськ, 2012. - 6 с.
19. Зарубіна Л. П. Захист будівель, споруд, конструкцій і устаткування від корозії. Біологічний захист. - М.: Инфра-Инженерия, 2015. - 224 с.
20. Sandelin, R. W. Galvanizing characteristic of different types of steel / R. W. Sandelin // Wire and wire product. – 1940. – 15. – p. 655-660
21. Проскуркин, Е. В. Диффузионные цинковые покрытия. - М.: Metallurgia, 1972. - 248 с.
22. Проскуркин Е. В. Анализ качества горячеоцинкованной продукции / Е. В. Проскуркин, В. А. Шанилов, А. И. Сухомлин // Сталь. – 1998. - № 2. - С. 56-59.
23. Проскуркин, Е. В. Диффузионные цинковые покрытия. - М.: Metallurgia, 1972. - 248 с.
24. Игнатенко Т. Ставка на качество // Металлоснабжение и сбыт. - 2014. - № 7-8. - С. 101-104
25. Улиг Г., Ревы Р. Коррозия и борьба с ней. Введение в коррозионную науку и технику. -Л.: Химия. - 1990. - 455 с.; Veczkowiak H. Thermal Spraying and Thermal Sprayed Coatings. -N.Y.: Dekker. - 1992 - 264 p.
26. Г.В. Похмурська, М.М. Студент, В.І. Похмурський. Газотермічні покриття : навчальний посібник. - Львів, 2017.- 180 с; Інженерія поверхні: Підручник / К. А. Ющенко, Ю. С. Борисов, В. Д. Кузнецов, В. М. Корж — К.: Наукова думка, 2007. — 559 с.
27. Астахов Є. А., Артемчук В. В. Особливості застосування газотермічного нанесення відновлювальних покриттів / Восточно-Европейский журнал передовых технологий. № 3/5 (57) 2012. С.4-10.
28. Астахов Є. А., Артемчук В. В. Особливості застосування газотермічного нанесення відновлювальних покриттів / Восточно-Европейский журнал передовых технологий. № 3/5 (57) 2012. С.4-10..

29. Handbook of corrosion inhibitors / Ed. M.Ash. - NY: Synapse Information Resources, 2000. - 322 p.

30. ГОСТ 9.304-87 Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия газотермические. Общие требования и методы контроля, Госстандарт СССР, 18.12.1987, с.14; Куприянов И.Л., Геллер М.А. Газотермические покрытия с повышенной прочностью сцепления. - Мн.: Навука і тэхніка, 1990. - 176 с.

31. Червінська, Н. Р. Корозія. Захист металів від корозії. Фізико-хімічна механіка матеріалів 54. № 1. 2018. 140-142.; Семенова І.В., Флоріанович Г.М., Хорошилов А.В. Корозія і захист від корозії М.; ФИЗМАТЛИТ. 2002. 336 с.

32. Семенова І.В., Флоріанович Г.М., Хорошилов А.В. Корозія і захист від корозії М.; ФИЗМАТЛИТ. 2002. 336 с.; Савенко, В. І., Фіалко, Н. М., ХаїлАбуСал, А. А., Висоцька, Л. М. Ефективна боротьба з корозією металів екологічно чистими засобами. Ways to Improve Construction Efficiency, №32. 2014. С. 28-36.

33. Guangzhi Zhang, "The protection measures and regular pattern of hull corrosion," Chinese Journal of Ship Repairing. vol. 16. May 2003. pp. 53-58.

34. Guangzhi Zhang, "The protection measures and regular pattern of hull corrosion," Chinese Journal of Ship Repairing. vol. 16. May 2003. pp. 53-58.

35. C. Smith, T. Siewert, B. Mishra, D. Olson, A. Lassiegne, Coatings for Corrosion Protection : Offshore Oil and Gas Operation Facilities. 2004. p. 334.; Guides to good practice in corrosion control - Coating for the Protection Steelwork, National Physical Laboratory (NPL), 200; Найбова Т. М., Алиева З. Н., Аббасова К. Г. Антикоррозионные покрытия на основе модифицированных фенолоформальдегидных и эпоксидных олигомеров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2012. №11

36. Mc Cafferty, E. Introduction to Corrosion Science / E. Mc Cafferty. – Springer, 2010. – 583 p.

37. Дринберг А.Я. Технология лакокрасочных покрытий / А.Я. Дринберг, А.А. Снедзе, А.В. Тихомиров. – М. - Л.: Госхимиздат, 1951. – 528с.

38. Яковлев, А.Д. Химия и технология лакокрасочных покрытий / А.Д. Яковлев. – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2008. – 448с.

39. Текст документа ДСТУ ISO 12944-5:2020 Фарби та лаки. Захист від корозії сталевих конструкцій захисними лакофарбовими системами. Частина 5

40. Svidersky V, Karavaev T 2010 State, structure and prospects of development of the market of paint and varnish production in Ukraine Paints and varnishes and their application 8-16.

41. Council Directive 1999/13/EC Solvent Emission Directive European Commission 30, Directive 2004/42/EC Limitation of emissions of volatile organic compounds due to the use of organic solvents in certain paints and varnishes and vehicle refinishing products European Parliament and of the Council L 143/87-96.

42. Maty, J. (2004). "90 Years with PCI: A Retrospective" Paint & Coatings Industry Magazine, 20:11 (November), pp. 28-29.

43. E. Spyrou, Powder Coatings Chemistry and Technology, 3rd Edition, Hanover: Vincentz Network GmbH & Co KG, 2012.

44. Al-Sherrawi M.H. Corrosion as a Source of Destruction in Construction / M.H. Al-Sherrawi, V. Lyashenko, E.M. Edaan and S. Sotnik // International Journal of Civil Engineering and Technology, 2018, 9(5). – pp. 306–314.

45. Бондаренко С. Рынок ЛКМ Украины: итоги проблемы и ожидания / С. Бондаренко // Капитальное строительство. – 2017. – № 1. – С. 26 – 35.

46. V.E. Spyrou, Powder Coatings – Chemistry and Technology, European Coatings Tech Files, 3rd, 2004., N. Liberto, Powder Coating: The Complete Finisher's Handbook, 4th Edition, Powder Coating Institute, 2012.

47. Kiefer, S.L. Powder Coating Material Developments Promise New Opportunities for Finishers / S.L. Kiefer, Metal Finishing, 2004. – pp. 35-37.

48. De Lange, P. A. History of Powder Coating / P. De Lange. – Paint & Coatings Industry Magazine Available, 2004. – Vol.2. – pp.16 – 24.

49. J. Maty, "90 Years with PCI: A Retrospective", Paint & Coatings Industry Magazine, pp. 28-29, 2004.

50. De Lange, P. A. History of Powder Coating / P. De Lange. – Paint & Coatings Industry Magazine Available, 2004. – Vol.2. – pp.16 – 24.

51. Richart, D.S. Powder Coating – Past, Present and Future: A Review of the State of the Art / D.S. Richart, Powder Coating, 1990. – Vol.1. – pp. 16 – 24.

52. Maty, J. 90 Years with PCI: A Retrospective / J. Maty, Paint & Coatings Industry Magazine, 2004. – pp. 28 – 29.

53. Gribble, P. (1990). “A History of Powder Coating” in Seymour, R. and H. Mark (eds). Organic Coatings: Their Origin and Development (Elsevier, New York), pp. 315-321

54. Maty, J. (2004). “90 Years with PCI: A Retrospective” Paint & Coatings Industry Magazine, 20:11 (November), pp. 28-29.

55. Richart, D.S. Powder Coating – Past, Present and Future: A Review of the State of the Art / D.S. Richart, Powder Coating, 1990. – Vol.1. – pp. 16 – 24.

56. Kiefer, S.L. Powder Coating Material Developments Promise New Opportunities for Finishers / S.L. Kiefer, Metal Finishing, 2004. – pp. 35-37.

57. Misev, T.A. Powder Coatings Technology: New Developments at the Turn of the Century / T.A. Misev, R. Van der Linde, Progress in Organic Coatings, 1998. – Vol. 34. – pp. 160 – 168.

58. Connely, G., Gaillard, G., Proceedings UK Corrosion 87, Pt 26, no. 37, October (1987) p. 377.

59. Grenda, W., Spyrou, E., Congress Papers European Coatings Congress (ECS), Nuremberg, 113, 2011

60. Kosar, W. P.; Morris, S., Journal of Coatings Technology and Research, 4(1), 51-58, 2007.

61. Crowley. J.D., Teague, G.S., Curtis, L.G., Foulk, R.G., Ball, F.M., J. Paint. Techn., 44, (571), 56 (1972).

62. “Plascoat PPA 571” in Powder Coater’s Daily, Preview of PCE 2002 Congress, Nuremberg, Jan. (2002)

63. Connely, G., Gaillard, G., Proceedings UK Corrosion 87, Pt 26, no. 37, October (1987) p. 377.

64. Gaumet, S.; Delprat, P.; Audenaert, M., *European Coatings Journal* 6, 50-54, 2004].
65. Paul, S., in *Surface Coatings – Science and Technology*, John Wiley & Sons, Chichester (1985) p. 671
66. Hood, J. D., and Bount, W. W., *Powder Coatings Buyers Guide* 5(2), 28, 1983.
67. Wicks Z.W., Jones F.N., Pappas S.P. *Organic coatings. Science and technology.* Vol. 2. Chichester: John Wiley & Sons Ltd. - 1994. - 438 p.
68. Wicks Z.W. *Organig Coating, Science and Technology / Z.W. Wicks, F.N. Jones, Wiley&Sons, 1992. – 544 p.*
69. Wu, X., *Reguxing Shuzhi*, 21(4), 29-33, 2006.
70. Gulpen, N.J.H., Werff van de A.J., *J. Paint Technol.*, 47, (608), 81, 1975]
71. Yousuf, M.K., *Modern Paints and Coatings*, June 1989, p.48].
72. Kerssen, G.W., and Verlaak, J., *XXIII FATIPEC Congress book, Vol. B. p. 419, Brussels, June 1996].*
73. Bergmans, A., *Polym. Paint Colour J. (PPCJ)*, 191, (4445), 16 (Oct. 2001)
74. Minnesota Mining and Manufacturing Company, US Pat. 3.340.212, 1961
75. Pappas, S.P., Kunz, V.D. and Pappas, B.C., *J. Coat. Technol.* 63, (796), 39 (1991).
76. DSM Resins BV, BE Pat. 0.898.100, 1982
77. Capra, A.; Panero, I.; Lorenzo, D.D., Ghisolfi, S., *European Coatings Show, Proceedings*, 108, 2011.
78. Wu, B., Padaki, S., and Maetens, D., *Proc. 26th Int. Waterborne, High Solids & Powder Coatings Symp., New Orleans, 10–12 Feb. 1999.*
79. Williams, F., Armengol, J., Grau, E., Monleon, J., and Schultz, E., *Proc. 27th Int. Waterborne, High Solids and Powder Coatings Symp. New Orleans, Feb.2000*
80. Ratliff, K.; Eastman, J.; Faecke, T., *Proceedings of the International Waterborne, High-Solids, and Powder Coatings Symposium, 33rd 133-144, 2006*
81. Maetens, D., *Progress in Organic Coatings*, 58(2-3), 172-179, 2007

- 82.** Merfeld, G.; Mordhorst, S.; Koeniger, R.; Acar, A. E.; Molaison, C.; Suriano, J.; Irwin, P.; Warner, R. S.; Gray, K.; Smith, M.; Kovaleski, K.; Garrett, G.; Finley, S.; M., D.; Spicer, M.; Naguy, T., *JCT Research*, 2(8), 661-668, 2005.
- 83.** Hoppe, M., *J. Coat. Technol.*, 60, (763), 53–57, 1988.
- 84.** Maetens, D., Loutz, J., and Merck, Y., *Proc. 13th Intern. PRA Conf. on Powd.Coat.* Brussels, Nov. 1993
- 85.** Merck, Y., Maetens, D., Moens, L., and Buysens, K., *European Coatings J. (ECJ)* 12 (1999) p. 18
- 86.** DSM Resins BV, NL Pat. 8.204.206, 1982.
- 87.** Puig M., *Anticorrosive Properties Enhancement in Powder Coating Duplex Systems by Means of ZMP Anticorrosive Pigment. Assessment by Electrochemical Techniques / M. Puig, M.J. Gimeno, J.J. Gracenea // Progress in Organic Coatings*, 2018, 77. – pp. 1993-1999..
- 88.** Maty, J. (2004). “90 Years with PCI: A Retrospective” *Paint & Coatings Industry Magazine*, 20:11 (November), pp. 28-29.
- 89.** Hexion Specialty Chemicals, WO 2010069531, 2010.
- 90.** Wicks Z.W. *Organig Coating, Science and Technology / Z.W. Wicks, F.N. Jones, Wiley&Sons*, 1992. – 544 p.
- 91.** Малкин А.Я., Бегигиев В.П. *Химическое формирование полимеров. М.: Химия*, 1991. 239с.
- 92.** Capra, A.; Panero, I.; Lorenzo, D.D., Ghisolfi, S., *European Coatings Show, Proceedings*, 108, 2011.
- 93.** Luo, S.; Zheng, Y.; Li, J.; Ke, W. *Efect of curing degree and fillers on slurry erosion behavior of fusion-bonded epoxy powder coatings. Wear* 2003, 254, 292–297.
- 94.** Liberto, N. *User’s Guide to Powder Coating*, 4th ed.; Association for Finishing Processes and Society of Manufacturing Engineers: Dearborn, MI, USA, 2003; George, W. *Handbook of Fillers*, 4th ed.; ChemTec Publishing: Toronto, ON, Canada, 2016.
- 95.** Богданова Ю.Г. *Адгезия и ее роль в обеспечении прочности полимерных композитов: учебное пособие. МГУ им. М.В. Ломоносова. М., 2010. 68 с.*

96. Wypych, G. (2000) Handbook of Fillers, ChemTec Publishing, Toronto, Canada.
97. Мамбиш, С. Е. Минеральные наполнители в промышленности пластмасс / Е.С. Мамбиш // Пластические массы. - 2007. - № 12 - С. 3-5.
98. Наполнители для полимерных композиционных материалов [Текст]: справ. Пособие/ пер. с англ. Бухарова С.В. под ред. Бабаевского П.Г; под ред. Г.С. Каца. - М.: Химия, 1981. - 736 с.
99. Симонов-Емельянов, И.Д. Принципы создания и переработки полимерных композиционных материалов дисперсной структуры [Текст] / И.Д. Симонов-Емельянов // Пластические массы. - 2005. - № 1. - С. 11-16.
100. George Wypych, Handbook of Fillers 2nd Edishion, ChemTec Publishing, Toronto, 1999..
101. Yu, H.; Wang, L.; Shi, Q.; Jiang, S.; Jiang, G., Journal of Applied Polymer Science, 101(4), 2656-2660, 2006.
102. Симонов-Емельянов И.Д. Наполнение как метод модификации полимеров и особенности технологии их переработки / И.Д. Симонов-Емельянов, В.Н. Кулезнев // Сб. Основные достижения научных школ МИТХТ им. М.В. Ломоносова. М.: МИТХТ. - 2000. - С. 255-263.
103. Matyjaszewski, K., 2012. Polymer Science: Polymers for a sustainable environment and green energy. In Elsevier.
104. Ліпатов Ю.С. Фізико-хімічні основи наповнення полімерів. М .: Хімія, 1991. 260 с.; Wolter Jemma. Takind the plunge. Europe Adhesives And Senlants. 2003. Т 20. № 1. Р. 8-10.
105. Wang Y-Q. Preparation and mechanical properties of nano-silica/UPR polymer composite / Y-Q. Wang, Y. Guo, R-X. Cui, Z-M. Wang, Y-L. Wu // Science and Engineering of Composite Materials. – 21. – 2014. – P. 471–477.
106. Lange, P.G. de, Proc. XX FATIPEC Congress, Nice, Sept. (1990) p. 395.
107. Rohm and Haas Company, US 20090192247, 2009.
108. Васильев В.В., Протасов В.Д., Болотин В.В. Композиционные материалы: Справочник. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.

109. Яковлев А. Д., Здор В. Ф., Каплан В. И. Порошковые полимерные материалы и покрытия на их основе. М.: Химия, 1971. 256 с.

110. Мюллер Б., Пот У. Лакокрасочные материалы и покрытия. Принцип составления рецептур / пер. с нем. С. А. Яковлева, под ред. А. Д. Яковлева. М.: Пэйнт-Медиа, 2007. 237 с.].

111. Good R. J., Chauldhary M.K., van Oss C.J. Theory of adhesive forces across interfaces. 2. Орлова О.В., Фомичева Т.Н. Технология лаков и красок: Учебник для техникумов. – М.: Химия, 1990. – 384 с.

112. Cantwell W., Curtis P., Morton J. Composites. 1985, v. 14. № 3, P. 301.

113. Васильев В.В., Протасов В.Д., Болотин В.В. Композиционные материалы: Справочник. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.

114. Wulf, M., Uhlmann, P., Michel, S. and Grundke, K., Congress Papers PCE 2000, Amsterdam, Jan. 2000, p. 299.

115. Ladoo, R.B. "Wollastonite-A New Industrial Mineral." Engineering and Mining J. November 1950, Engelhard, C.L. "Calcium Metasilicate-An Extender Pigment." American Paint & Coatings J. September 10, 1979.

116. Ladoo, R.B. "Wollastonite-A New Industrial Mineral." Engineering and Mining J. November 1950.

117. Piazza, D.; Lorandi, N. P.; Pasqual, C. I.; Scienza, L. C.; Zattera, A. J., Materials Science & Engineering, Structural Materials: Properties, Microstructure and Processing, 528(22-23), 6769-6775, 2011.

118. Dholakiya V. Unsaturated Polyester Resin for Specialty Applications. Polyester. Chapter 7. Dr. Hosam El-Din Saleh (Ed.). InTech. – 2012. - P. 168 – 202.

119. Караваєв Т. А., Осика В. А., Комаха В. О., Калуга Н. В., Ткачук В. В., Сікорський О. О. Процеси хімічної взаємодії в системі мінеральний наповнювач–модифікатор–плівкоутворювач. Питання хімії та хімічної технології. 2019. № 6. С. 83–91. DOI: 10.32434/0321-4095-2019-127-6-83-91.

120. Адамсон А. Физическая химия поверхностей; пер. с англ. З.М. Зорина. М.: Мир, 1979. 568с.; Сумм Б. Д., Горюнов Ю. В. Физико-химические основы смачивания и растекания. М.: Химия, 1976. 232 с.

121. Богданова С.А., Барабанов В.П. Коллоидно-химические аспекты взаимодействия ПАВ с поверхностью полимеров. Вестник Казан. технол. ун-та. 2010. №4. С.7-25.

122. Саратовцева Н.Д. Влияние ПАВ на процессы структурообразования и физико-механические свойства полиэфирных композиций: автореф. дис. канд. техн. наук. 05.23.05. М., 1982. 23 с.

123. D. Richart, Industr. Paint & Powder, Powder R&D Section Fall, 1999.

124. Wagemakers' Lakfabrieken, NL Pat. 138009 (1973).

125. Kameda J., Morisaki T. Sensitivity of Clay Suspension Rheological Properties to pH, Temperature, Salinity, and Smectite-Quartz Ratio. Geophysical Research Letters. 2017. Vol. 44. № 19. P. 9615–9621.

126. Paul, S., in Surface Coatings-Science and Technology, John Wiley & Sons, Chichester, 1985, p. 711

127. Schylde, F., Proc. XIV. FATIPEC Congress, Budapest (1978) p. 605 or Defazet, 33, (2), 46 (1979)

128. Богданова Ю.Г., Должикова В.Д., Сумм Б.Д. Влияние смесей поверхностно-активных веществ на смачивание. Вестник Моск. Ун-та. Сер. 3. 2000, Т. 41. № 3. С. 199-201.

129. Patton, T.C., in Paint Flow and Pigment Dispersion, 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, 1979, p. 377.

130. Sumitomo Osaka Cement Co, JP 2004303729, 2004

131. Byk-Cera, Prod. Info XI 5 “Ceraflour” – micronized waxes (1998), Lubrizol, Techn. Leaflet “Lubrizol’s Coat. Additives f. Powder Coatings” (1998).

132. Gabriel, S., J. Oil Col. Chem. Assoc., 58, 52, 1975.

133. de Lange, P.G., J. Coat. Technol., 56 (717) 23, 1984.

134. Th. Swan & Co., Techn. Info “Casamid” curing agents for epoxy resins, Ciba-Geigy, EU Pat. 0165 207 and Data Sheet “Matting Agent DT 3329-1”, Schmidhauser, J., Powder Coating, Sep. 2002, p. 51.

135. SKW Trostberg, Techn. Info “Dyhard PC 45”.

136. Verkholantsev, V., European Coatings Journal (ECJ), 12 (1999) p. 70.

137. *Bate, D.A.*, The Science of Powder Coatings, Vol. I, p. 115, SITA London (1990).

138. Micro Powders Inc., Techn. Leaflet “Micronized Waxes”.

139. *Richart, D.*, Industr. Paint & Powder (Powder R&D Section) Fall 1999.

140. *Lipatov, Yu.S., and Geller, T.E.*, Vysokomol. Soedin., A9, 222, 1967.

141. Tigerwerk Lack- und Farbenfabrik, WO 2008014527, 2007.

142. Faming Zhuanli Shenqing Gongkai Shuomingshu, CN 1511906, 2004.

143. Тодт, Ф. Коррозия и защита от коррозии / Ф. Тодт. - Л.: Химия, 1967. - 709 с.

144. Procopio, L. J. A 20-Year Case Study of the Hunting Island Lighthouse / Leo J. Procopio // PCE. - 2003. - v. 8, N. 9. - p. 4 – 15.

145. Goldschmidt, A. BASF Handbook on Basics of Coating Technology / A. Goldschmidt, H. J. Streitberger. - G.: BASF, 2003. - 792 P.

146. Железняк В.Г. Современные лакокрасочные материалы для применения в изделиях авиационной техники // Труды ВИАМ: электрон. науч.-техн. журн. 2019. №5 (77). Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.u> (дата обращения: 17.10.2020). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-5-62-67.

147. Калининская Т.В., Дринберг А.С. Цветные пигменты. М.: ЛКМ-пресс, 2013. 360 с.

148. Салычиц О.И., Орехова С.Е., Ашуйко В.А. Пигменты с антикоррозионными свойствами на основе соединений переходных металлов // Труды БГТУ. 2012. №3. С. 16–18.

149. Акимова, Е. С. Экология и ресурсосбережение при использовании новых фосфатирующих составов / Е. Ф. Акимова // Лакокрасочная промышленность. - 2007. - №№ 4. - с. 33 – 38.

150. Chromate free waterborne epoxy corrosion resistant primer: pat. EP 1433821B1; filed 24.11.03; publ. 30.06.04.

151. Ашуйко В.А., Иванова Н.П., Салычиц О.И. Свойства антикоррозионных фосфатсодержащих пигментов для лакокрасочных покрытий металлов // Энерго-

и материалосберегающие экологически чистые технологии: тезисы докладов X Междунар. конф. Гродно, 2013. С. 117–118.

152. Alemdar, N.; Karagoz, B.; Erciyes, A.T.; Bicak, N. A method for polymethacrylate coating via self-curable unsaturated polyester primer on metal and glass surfaces. *Prog. Org. Coat.* 2007, 60, 69–74.

153. Polyesters for Powder Coatings: Resin Parameters Correlated with Coating Properties by: T. Misev and E. Belder, SSM Resins BV, Ceintuurbaan 5, 8022 AW Zwolle, The Netherlands, JOCCA, 1989, 32-34.

154. Review of Ultraviolet-Curable Powder Coatings, Shelby Thames, James W. Rawlins, department of Polymer Science, University of Southern Mississippi-Hattiesburg, Powder Coatings, November, 1996 (54-56).

155. Mittal K.L. Polymer Surface Modification: Relevance to Adhesion / K. L. Mittal // Volume 4. Front Cover CRC Press, May 11, 2007/ - 314 p.

156. Hedayati, M. Salehi, M. Bagheri, R., Panjepour, M. and Maghzian, A. (2011), “Ball milling preparation and characterization of poly (ether ether ketone)/surface modified silica nanocomposite”, *Journal of Powder Technology*, Elsevier, Vol. 207 No. 1, pp. 296–303.

157. R. Naderi, M. M. Attar, and M. H. Moayed, “EIS examination of mill scale on mild steel with polyester-epoxy powder coating,” *Progress in Organic Coatings*, vol. 50, no. 3, pp. 162–165, 2004.

158. Кичигин В.И., Шерстобитова И.Н., Шеин А.Б. Импеданс электрохимических и коррозионных систем: учеб. пособие по спецкурсу. Пермь: Перм. гос. ун-т, 2009. 239 с.

159. M. Ozcan, I. Dehri, and M. Erbil, “EIS study of the effect of high levels of SO₂ on the corrosion of polyester-coated galvanised steel at different relative humidities,” *Progress in Organic Coatings*, vol. 44, no. 4, pp. 279–285, 2002.

160. K. Mafi, R. Mirabedini, S.M. Attar, M.M. and Moradian, S. (2005), “Cure characterization of epoxy and polyester clear powder coatings using Differential Scanning Calorimetry (DSC) and Dynamic Mechanical Thermal Analysis (DMTA)”, *Journal of Progress in Organic Coatings*, Elsevier, Vol. 54 No. 3, pp. 164–169.

161. Kartsonakis, I.A. Athanasopoulou, E. Snihirova, D. Martins, B. Koklioti, M.A. Montemor, M.F., Kordas, G. et al. (2014), “Multifunctional epoxy coatings combining a mixture of traps and inhibitor loaded nanocontainers for corrosion protection of AA2024-T3”, *Journal of Corrosion Science*, Elsevier Ltd, Vol. 85, pp. 147–159.

162. Mostafaei, A. and Nasirpouri, F. (2014), “Progress in Organic Coatings Epoxy / polyaniline – ZnO nanorods hybrid nanocomposite coatings: Synthesis , characterization and corrosion protection performance of conducting paints”, *Journal of Progress in Organic Coatings*, Elsevier B.V., Vol. 77 No. 1, pp. 146–159.

163. Huttunen-saarivirta, E. Vaganov, G. V, Yudin, V.E. and Vuorinen, J. (2013), “Progress in Organic Coatings Characterization and corrosion protection properties of epoxy powder coatings containing nanoclays”, *Journal of Progress in Organic Coatings*, Elsevier B.V., Vol. 76 No. 4, pp. 757–767

164. Караваєв Т. А. Водно-дисперсійні фарби: товарознавча оцінка: монографія. Київ: Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2015. 288 с.

165. Good R. J., Chauldhary M.K., van Oss C.J. Theory of adhesive forces across interfaces. 2. Орлова О.В., Фомичева Т.Н. Технология лаков и красок: Учебник для техникумов. – М.: Химия, 1990. – 384 с.

Додаток А



А К Т

про випуск дослідної партії порошкової фарби у відповідності з
ДСТУ ISO 15528:2015, ТУ У 20.3-40236146-001:2018

Нами, представниками ТОВ «Лаковер» керівником технічного відділу Кругляк О.В., начальником виробництва порошкової фарби Сайко В.О., та представниками Київського національного університету будівництва та архітектури д.т.н., професором Гоцом В.І., к.т.н., доц. Ластівкою О.В. та аспірантом Томіном О.О., складено даний акт в тому, що в жовтні 2018 р. на ТОВ «Лаковер» було проведено випуск дослідної партії порошкової фарби в кількості 100 кг згідно з ДСТУ ISO 15528:2015, ТУ У 20.3-40236146-001:2018, що містила у своєму складі 58 % поліефірної смоли компанії «Allnex», 4 % гідроксіалкіламідна компанії «EMS-Griltech», 18 % метакаоліна виробництва ПРАТ «Глуховецького ГЗКК», 18 % діоксиду титану компанії «Kronos», 1 % функціональних добавок. Дослідна партія порошкової фарби виготовлена за результатами експериментальних дисертаційних розробок Томіна О.О.

Технологічний процес виробництва порошкових фарб складався з наступних операцій:

- дозування гранульованої плівкоутворюючої смоли, порошкоподібного наповнювача, пігменту та функціональних добавок в порошкову композицію;
- змішування віддозованої суміші в міксерах роторного типу протягом 10-15 хв.;
- гомогенізація суміші в термостатних двошнекових змішувачах у вигляді екструдера при $T = 90...120\text{ }^{\circ}\text{C}$ та тривалості протягом 20...30 с, з подальшим видавлюванням розплаву з екструдера та його охолодженням на двох циліндрах. Проходячи між двома циліндрами, розплав розкочувався до виду стрічки товщиною 0,5-1,5 мм з подальшою нарізкою так званих «чіпсів»;
- далі чіпси подавались до помольної установки, до складу якої входить: турбовентилятор; імпульсний млин-класифікатор; циклон з системою розвантажувальних шлюзів; система тонкого очищення.

Додаток Б

“ЗАТВЕРДЖЕНО”
 Директор ТОВ «Лаконер»
 М.Г. Ковальчук
 2018 р.



РОЗРАХУНОК

економічної ефективності впровадження дослідної партії порошкової фарби

При виконанні робіт по виготовленню дослідної партії порошкової фарби було встановлено технологічну і економічну доцільність розробленої порошкової фарби за ТУ У 20.3-40236146-001:2018, ДСТУ ISO 15528:2015, що дозволяє підвищити фізико-механічні властивості та подовжити терміни експлуатації порошкових покриттів на її основі, а також знизити собівартість виготовлення продукції та сприятиме вирішенню екологічних проблем, пов'язаних із випуском покриттів на основі традиційних антикорозійних лакофарбових матеріалів.

Розрахунок економічної ефективності від впровадження порошкової фарби виконано у відповідності до “Інструкції по визначенню економічної ефективності використання в будівництві нової техніки, винаходів і рацпропозицій” СН 509-78 за формулою:

$$E = (C_1 - C_2) \cdot A$$

де E - економічний ефект від впровадження нової технології, грн;

C_1, C_2 - собівартість виготовлення одиниці продукції по базовій та новій технології;

A – обсяг виробництва.

Собівартість дослідної партії визначали, виходячи з діючих цін на матеріали станом на жовтень 2018 р. Як базовий варіант використано традиційне антикорозійне покриття на основі Sika Corro Top.

Розрахунок собівартості порошкової фарби у порівнянні з Sika Corro Top наведено в таблиці Б 1.

Таблиця Б 1

Порівняльний розрахунок собівартості Sika Corro top та порошкової фарби

Назва матеріалів	Одиниці вимірювання	Вартість матеріалів, грн	Витрата матеріалів на 1 кг	Вартість, грн
SIKA CORRO TOP				
Епоксидна смола	кг	104,9	0,746	78,2554
Розчинник	кг	98,4	0,154	15,1536
Діоксид титану	кг	97,3	0,080	7,784
Функціональна добавка	кг	246	0,020	4,920
Електроенергія	кВт-год	2,10	0,356	0,7476
Виробнича собівартість	грн			106,860
ПОРОШКОВА ФАРБА				
Поліефірна смола	кг	69,3	0,584	40,4712
Гідроксіалкіламід	кг	138,6	0,044	6,0984
Метакаолін	кг	6,6	0,180	1,188
Діоксид титану	кг	97,3	0,180	17,514
Функціональна добавка	кг	198	0,012	2,376
Електроенергія	кВт-кг продукту	2,10	0,402	0,8442
Виробнича собівартість	грн			68,492

Собівартість 1 кг Sika Corro Top складає $C_2 = 106,862$ грн.

Собівартість 1 кг порошкової фарби складає $C_2 = 68,492$ грн.

Питомий економічний ефект при випуску порошкової фарби порівняно із традиційним антикорозійним покриттям на основі Sika Corro Top складає 38,37 грн/кг

Слід зазначити, що даний технологічний процес забезпечує майже 100 % утилізацію відходів. Тому виготовлення порошкової фарби не погіршує екологію довкілля.

Витрата компонентів для виготовлення 100 кг порошкової фарби складає:

Поліефірна смола	58,4 кг;
Гідроксіалкіламід	4,4 кг;
Метакаолін	18 кг;
Діоксид титану	18 кг;
Функціональні добавки	1,2 кг

Фізико-механічні випробування виготовленої порошкової фарби та покриття на її основі з використанням метакаоліну проведені в заводській лабораторії ТОВ «Лаковер», результати яких наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Фізико-механічні властивості порошкової фарби та покриття на її основі

ρ , г/см ³	Псевдо зрідження, R	Ударна міцність, см	Міцність на згин, мм	Адгезія, клас	Еластичність при розтягу, мм	Стійкість до дії сольового туману, год
1,5	170	80	8	0	5	720

За результатами проведених досліджень встановлена відповідність фізико-механічних характеристик порошкової фарби та покриття на її основі вимогам ТУ У 20.3-40236146-001:2018, ДСТУ ISO 15528:2015.

Представники ТОВ «Лаковер»

Керівник технічного відділу

Начальник виробництва



Кругляк О.В.

Сайко В.О.

Представники Київського національного університету будівництва та архітектури

Професор, д.т.н.

К.т.н, доц.

Аспірант



Гоц В.І.

Ластівка О.В.

Томін О.О.

Фактичний економічний ефект від виготовлення 100 кг дослідної партії порошкової фарби порівняно із Sika Color Top складає:

$$E = (106,862 - 68,492) \cdot 100 = 4\,037 \text{ тис. грн}$$

При запланованому випуску порошкової фарби 1000 кг економічний ефект становитиме:

$$Э = (106,862 - 68,492) \cdot 1000 = 40\,370 \text{ грн.}$$

Головний бухгалтер ТОВ «Лаковер»

Гудзь М.І.

Представники Київського національного університету будівництва та архітектури

Д.т.н., професор

Гоц В. І.

К.т.н., доц.

Ластівка О.В

Аспірант

Томін О.О.

Додаток В



А К Т

проведення дослідної партії поліефірної порошкової фарби для фарбування системи огороження секційного типу «ЕКО ЗАГРАДА»

Ми, що підписались нижче, представники заводу ТОВ «ТМ ЗАВОД ЦЕНТР-СТІКА» начальник виробництва Жураковський В.М., та представники Київського національного університету будівництва та архітектури д.т.н., професор Гоц В.І., к.т.н., Ластівка О.В. та аспірант Томін О.О. склали даний акт про те що, що в період з 01.02.2022 р. по 03.02.2022 р. було проведено роботи з фарбування системи огороження секційного типу «ЕКО ЗАГРАДА» (висота 2,0 м ширина 3,0 м Ø 4+3 мм) у кількості 500 штук із застосуванням розробленого порошкового лакофарбового матеріалу, отриманого на основі дослідної партії порошкової фарби на заводі ТОВ «Лаковер».

В якості сировинних матеріалів використовували систему огороження секційного типу «ЕКО СТАНДАРТ» та дослідне захисне порошкове покриття зі складом: плівкоутворювач у вигляді карбоксилосмісної поліефірної смоли компанії «Allnex», гідроксіалкіламід компанії «EMS Chemicals», наповнювача у вигляді метакаоліну «Глуховецького ГЗК», рутіловий пігмент компанії «Kronos», та комплекс функціональних добавок. Склад порошкової фарби відповідає розробленому, що прийнятий за номінальний для покриття корозійної категорії С5 (таблиця В.1)

Таблиця В.1

Склад порошкової фарби				
Витрата матеріалів на 1 кг.				
Плівкоутворювач «Crylocat.2618-3T»	Затверджувач «Primid XL-552»	Наповнювач «Метаксолін Глухівського ГЗК»	Рутилловий пігмент «Stroms K-2190»	Функціональні добавки
608	32	200	87	73

Фізико-механічні характеристики готового покриття нанесеного на систему огороження секційного типу «ЕКО ЗАГРАДА» відповідали наступним характеристикам: блиск покриття – 64°, міцність на згин покриття навколо циліндричного стержня становить 5 мм, міцність до дії зворотного удару – 70 см/кг, адгезія покриття методом решітчастого надрізу відповідає класу 0, твердість покриття за олівцем становить 2Н, стійкість покриття до витягування – 7,2 мм.

За умовами класифікації категорії корозійної стійкості згідно ISO 12944-6:2018 та довговічності згідно ISO 12944-1:2017 досліджуване порошкове покриття відповідає корозійній категорії С5 при забезпеченні високого класу довговічності (Н) від 15 до 25 років

При використанні даної технічної розробки заводом ТОВ «ТМ ЗАВОД ЦЕНТР-СІТКА» підтверджена повна відповідність порошкового покриття високим експлуатаційним характеристикам, що свідчить про їх високу ефективність і функціональність для захисту металевих конструкцій в умовах високої агресивності середовища.

Представники ТОВ «ТМ ЗАВОД ЦЕНТР-СІТКА»

Начальник виробництва

Жураковський В.М.

Представники Київського національного університету будівництва та архітектури

Професор, д.т.н.
К.т.н., доцент.
Аспірант



Гоц В.І.
Ластівка О.В.
Томін О.О.

Долаток Г

“ЗАТВЕРДЖЕНО”

Директор заводу

ТОВ «ІМ ЗАВОД ЦЕНТР-СІТКА»



Д.О. Коваль.

_____ 2022 р.

РОЗРАХУНОК

дослідної партії поліефірної порошкової фарби для захисту металевих конструкцій в умовах підвищеної корозійної агресивності.

Впровадження у технологію фарбування системи огородження секційного типу «ЕКО ЗАГРАДА» порошкової фарби підвищеної корозійної стійкості на заміну традиційній порошковій поліефірній фарбі сприятиме збільшенню терміну експлуатації виробів та зниженню собівартості виробництва.

Розрахунок економічної ефективності від впровадження порошкових лакофарбових покриттів підвищеної корозійної стійкості на основі поліефірного плівкоутворювача виконано у відповідності до “Інструкції по визначенню економічної ефективності використання в будівництві нової техніки, винаходів і рацпропозицій” СН 509-78 за формулою:

$$E = (C_1 - C_2) \cdot A$$

де E - економічний ефект від впровадження нової технології, грн;

C_1 , C_2 - собівартість застосування антикорозійного епоксидного ґрунту та традиційного поліефірного покриття.

A – обсяг виробництва.

Собівартість дослідної партії визначали, виходячи з діючих цін на матеріали станом на лютий 2022 р.

Розрахунок собівартості 1-го виробу системи огороження «ЕКО ЗАГРАДА» пофарбованого традиційним порошковим покриттям та розробленим наведено в таблиці Г.1.

Таблиця Г.1

Порівняльний розрахунок собівартості 1-го готового виробу системи огороження «ЕКО ЗАГРАДА» на основі традиційного порошкового покриття та розробленого порошкового покриття.

№ п/п	Статті калькуляції	Одиниця вимірювань	Вартість одиниці, грн	Вироби з традиційним покриттям		Вироби з розробленим покриттям	
				Норма витрат на 1 Шт	Вартість, грн	Норма витрат на 1 Шт	Вартість, грн
1	2	3	4	5	6	7	8
2	Традиційне покриття	Кг	72,2	0,378	27,29	-	-
	Розроблене покриття	Кг	68,4	-	-	0,321	21,95
3	Електроенергія	кВт*год	2,1	0,120	0,252	0,120	0,252
4	Кількість отриманих секцій	Шт	273	1	273	1	273
5	Виробнича собівартість	грн.			300,54		295,2

Собівартість 1-ї готової секції пофарбованого традиційним порошковим покриттям становить: $C_1 = 300,54$ грн.

Собівартість 1-ї готової секції пофарбованого розробленого порошкового покриття становить: $C_2 = 295,2$ грн.

Економічний ефект, отриманий при виготовленні та використанні 100 шт системи огороження секційного типу «ЕКО ЗАГРАДА» з використанням розробленого порошкового покриття:

$$E = (300,54 - 295,2) \cdot 500 = 2670 \text{ грн}$$

Таким чином, впровадження у технологію виробництва системи огороження секційного типу «ЕКО ЗАГРАДА» розробленого складу порошкового покриття дозволяє досягти економічного ефекту 5,34 грн на 1 шт., та підвищити термін експлуатації виробів.

"ПОГОДЖЕНО"

Головний бухгалтер заводу
ТОВ «ТМ ЗАВОД ЦЕНТР-СІТКА»



Ніколайчук Я. М.

Представники Київського національного університету будівництва та
архітектури

Професор, д.т.н.

Гоц В. І.

К.т.н., доцент

Ластівка О.В.

Аспірант

Томін О.О.



ООО «ЛАКОВЕР»
01054, Україна, г. Киев, ул. Куреневская, 19
Тел.: 044 596 06 12
Моб.: 067 183 03 10
info@lacover.com.ua
www.lacover.com.ua

Додаток Д

ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «ТМ ЗАВОД ЦЕНТР-СІТКА»

01048, м. Київ, вул. Мельникова 3-А, телефон: (044) 591-15-15, Рр 6006210390706, у банку ПАТ «Прокредобанк», МФО 320984, Код ЄДРПОУ 41003969

№ _____ від « _____ » _____ 2021 р.

ДОВІДКА

В період з 01.02.2022 р. по 03.02.2022 р. на ТОВ «ТМ ЗАВОД ЦЕНТР-СІТКА» було проведено впровадження поліефірної порошкової фарби для захисту металевих конструкцій в умовах підвищеної корозійної агресивності, розробленого за участю аспіранта кафедри ТБКіВ Томіна Олександра Олеговича та к.т.н., доцента кафедри ТБКіВ Ластівки Олесь Васильовича, Київського національного університету будівництва та архітектури, шляхом випуску дослідної партії системи огороження секційного типу «ЕКО ЗАГРАДА» пофарбованого розробленим порошковим покриттям в кількості 500 шт.

Фактичний економічний ефект від впровадження розробленої фарби на 100 виробів становить 2670 грн., або 5,34 грн. з 1шт виробу.

Акт впровадження та розрахунок економічної ефективності прикладається.

Довідка видана для подання в результатах дисертаційної роботи.

Директор
ТОВ «ТМ ЗАВОД ЦЕНТР-СІТКА»



Коваль Д.О.



НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
 ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
 «УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ»
 (УКРПАТЕНТ)
 УПРАВЛІННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЕРЖАВНОЇ РЕЄСТРАЦІЇ

вул. Гладунова, буд. 1, м. Київ, 01601, тел.: (044) 494-05-05, факс: (044) 494-05-06
 E-mail: office@ukrpatent.org, сайт: www.ukrpatent.org, код з'явлено з СДРПОУ 31032378

19.10.2022 № 2-19-22-4264-A

Гоц Володимир Іванович, пр-кт
 Повітрофлотський, 31, м. Київ, 03037

стосовно патенту на винахід № 126515, заявка №
 a202100460 від 05.02.2021

Відповідно до статті 25 Закону України «Про охорону прав на винаходи і корисні моделі» надсилаємо Вам патент на винахід № 126515.

Збір за 2-й рік чинності майнових прав інтелектуальної власності на винахід у розмірі 60,00 грн. (код - 13802) та за 3-й рік чинності майнових прав інтелектуальної власності на винахід у розмірі 80,00 грн. (код - 13803) Вам необхідно сплатити до 20.02.2023р.

Розмір і порядок сплати зборів за підтримання чинності визначається Порядком сплати зборів за дії, пов'язані з охороною прав на об'єкти інтелектуальної власності, затвердженим Постановою Кабінету Міністрів України від 23 грудня 2004 року № 1716.

Збір за кожний наступний рік сплачується відповідно до статті 32 Закону "Про охорону прав на винаходи та корисні моделі" протягом останніх 4-х місяців поточного року дії.

Сплата річних зборів за підтримання чинності майнових прав інтелектуальної власності на винахід задалегідь за наступні роки законодавством не передбачена.

Строк чинності майнових прав інтелектуальної власності на винахід відраховується від дати подання заявки.

Реквізити для сплати зборів:

Отримувач: Укрпатент	Призначення платежу:
Код отримувача: 31032378	Збір 13802, підтримання чинності ПУ 126515 - 60,00 грн
Банк отримувача: АТ "Укресіббанк" м. Києва	Збір 13803, підтримання чинності ПУ 126515 - 80,00 грн
SWIFT EXBSUAUX	
Рахунок отримувача (IBAN) у гривнях (UAH):	
UA913223130600026008020020371 (980)	

Реквізити для сплати зборів у інших валютах та відомості щодо основних банків-кореспондентів розміщено на сайті Укрпатенту.

Начальник управління



Святослав ЛЯШЕНКО

Мурманск, 494-05-68

UA

(11) 126515

(51) МПК (2022.01)
C09D 5/03 (2006.01)
C09D 167/00

1) Номер заявки:	а 2021 00460	(72) Винахідник: Ластівка Олесь Васильович, UA, Томін Олександр Олегович, UA, Гоц Володимир Іванович, UA
2) Дата подання заявки:	05.02.2021	
4) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності:	20.10.2022	
1) Дата публікації відомостей про заявку та номер Бюлетеня:	10.08.2022, Бюл.№ 32	(73) Володілець: Ластівка Олесь Васильович, пр-в. Ясинуватський, 11, к. 750, м. Київ, 03069, UA, Гоц Володимир Іванович, пр. П. Григоренка, 9, кв. 26, м. Київ, 02068, UA, Томін Олександр Олегович, вул. Волинська, 11/14, к. 312, м. Київ, 03151, UA
16) Дата публікації відомостей про державну реєстрацію та номер Бюлетеня:	19.10.2022, Бюл. № 42	

(54) Назва винаходу:

ПОРОШКОВА ПОЛІЕФІРНА ФАРБА

(57) Формула винаходу:

Порошкова поліефірна фарба, яка містить карбоксильовану поліефірну смолу як зв'язуючу речовину, діоксид титану, агент розливу, бензойні пігменти, яка відрізняється тим, що, з метою поліпшення механічних властивостей і підвищення атмосферо- та корозійної стійкості покриття, вона додатково містить карбонатову у вигляді метаксиліну та зшивачий агент у вигляді β -гідроксіаліламідів, при наступному співвідношенні інгредієнтів порошкової фарби, мас. %:

карбоксильована поліефірна смола	57,0-60,0
β -гідроксіаліламід	3,0-3,2
метаксилін	15,0-25,0
діоксид титану	9,8-23,0
агент розливу	1,0
бензойні	0,4
пігменти	0,5

(11) 126515

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
Державне підприємство
«Український інститут інтелектуальної власності»
(Укрпатент)

Цей паперовий документ ідентичний за документарною інформацією та реквізитами електронному документу з електронним підписом уповноваженої особи Державного підприємства «Український інститут інтелектуальної власності».

Паперовий документ містить 2 арк., які пронумеровані та прошиті металевими люверсами.

Для доступу до електронного примірника цього документа з ідентифікатором 1555191022 необхідно:

1. Перейти за посиланням <https://sis.ukrpatent.org>;
2. Обрати пункт меню Сервіси – Отримати оригінал документу;
3. Вказати ідентифікатор електронного примірника цього документа та натиснути «Завантажити».

Уповноважена особа



19.10.2022

I.S. Matusevich



УКРАЇНА

(19) UA (11) 126515 (13) C2

(51) МПК (2022.01)

C09D 5/03 (2006.01)

C09D 167/00

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
"УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ"

(13) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(21) Номер заявки:	а 2021 00460	(72) Винахідник(и):	Ластівка Олександр Васильович (UA), Томін Олександр Олександрович (UA), Гоц Володимир Іванович (UA)
(22) Дата подання заявки:	05.02.2021	(73) Володівець (володілний):	Ластівка Олександр Васильович, пров. Ясенувальський, 11, к. 750, м. Київ, 03060 (UA), Гоц Володимир Іванович, пр. П. Григоренка, 9, кв. 26, м. Київ, 03068 (UA), Томін Олександр Олександрович, вул. Волинська, 11/14, к. 312, м. Київ, 03151 (UA)
(24) Дата, з якої є чинним права інтелектуальної власності:	20.10.2022	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертами:	WO 91/14745 A1 EP 0322 907 A2 CN 105847334 A UA 76236 C2
(41) Публікація відомостей про заявку:	10.08.2022, Бюл.№ 32		
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію:	19.10.2022, Бюл.№ 42		

(54) ПОРОШКОВА ПОЛІЕФІРНА ФАРБА

(57) Реферат:

Назва винаходу - Порошкова поліефірна фарба. Дана порошкова фарба відрізняється від існуючих тим, що, з метою поліпшення механічних властивостей і підвищення атмосферо- та корозійної стійкості покриття, вона містить в своєму складі наповнювач у вигляді метакаоліну з діапазоном вмісту 15-25 % та зшивачий агент у вигляді β-гідроксіалкіламіду з діапазоном вмісту 3-3,2 %.

Галузь техніки, до якої належить винахід

Винахід належить до лакофарбових матеріалів, а саме до виробництва поліефірних порошкових фарб, призначених для нанесення трибостатичним і електростатичним методами фарбування металевих виробів різних галузей промисловості, та отриманням на їх основі захисних покриттів з покращеними експлуатаційними властивостями.

Технічним результатом є поліпшення механічних властивостей і підвищення атмосферо- та корозійної стійкості покриттів.

Для отримання покриттів з поліпшеними механічними властивостями і підвищеною атмосферо- та корозійною стійкістю, в складі порошкової фарби використано наповнювач у вигляді метакаоліну з діапазоном вмісту 15-25 % та зшивачного агенту у вигляді β-гідроксіалкіламіду з діапазоном вмісту 3-3,2 %.

UA 126515 C2

UA 126515 C2

Даний винахід належить до індексу C09D 5/03 "Композиції для покриття, наприклад фарби, олифи або лани, що характеризуються фізичною природою або характером дії; заповнювальні пастки. Порошкові фарби", та індексу C09D 167/00 "Композиції для покриття на основі поліестерів, одержаних реакціями утворення карбоксистерного зв'язу в основному ланцюзі; композиції для покриття на основі похідних цих полімерів" Міжнародної патентної класифікації (Українська версія (2021.01)).

Назва винаходу - Порошкова поліефірна фарба. Дана порошкова фарба відрізняється від існуючих тим, що, з метою поліпшення механічних властивостей і підвищення атмосферо- та корозійної стійкості покриття, вона вміщує в своєму складі наповнювач у вигляді метакрилату з діпазоном вмісту 15-25 % та зшивачий агент у вигляді β-гідроксіалкіламіду з діпазоном вмісту 3-3,2 %.

Галузь техніки, до якої належить винахід винахід відноситься до лакофарбових матеріалів, а саме до виробництва поліефірних порошкових фарб, призначених для нанесення трибостатичним і електростатичним методами фарбування металевих виробів різних галузей промисловості, та отримання на їх основі захисних покриттів з покращеними експлуатаційними властивостями.

Зокрема, використання даної порошкової фарби є доцільним для отримання покриттів з поліпшеними механічними характеристиками і підвищеною атмосферо- та корозійною стійкістю.

Рівень техніки - аналогами корисної моделі можна вважати порошкові фарби.

Відома є порошкова фарба [1], що включає аморфну поліефірну смолу з карбоксильними групами - 40-50 %, напівкристалічну поліефірну смолу з карбоксильними групами 10-20 %, зшивачий агент у вигляді гідроксіалкіламіду 35-40 %. Недоліком даної фарби є наявність поверхневих дефектів на покритті після її плавлення та затвердіння, а також низька ударна міцність та корозійна стійкість покриття.

Відома порошкова фарба [2], що включає наступні компоненти, мас. %: поліефірна смола - 14 %, зшивачий агент у вигляді гідроксіалкіламіду - 1 %, наповнювач у вигляді цинкового порошку 84,5 %, функціональні добавки - 0,5 %. Недоліком даної фарби є її токсичність, яка зумовлена високим вмістом цинкового порошку в системі.

Відома є також порошкова фарба [3], що вміщує поліефірну смолу - 55-65 %, зшивачий агент у вигляді поліізоціанатного аддукту - 10 %, наповнювач у вигляді карбонату кальцію - 20-30 %, пігменти - 4,5 %, функціональні добавки 0,5 %. Недоліком даної фарби є низька корозійна стійкість отриманих покриттів на її основі.

Найбільш близькою за технічною сутністю та призначенням до заявленого об'єкту є порошкова фарба [4], яку обрано як прототип корисної моделі.

Склад порошкової фарби по прототипу включає поліефірну смолу, епоксидну смолу, діоксид титану, осадовий сульфат барію (біанфікс), агент розливу, бензоїн, пігменти при наступному співвідношенні компонентів, мас. %:

поліефірна смола	43,5-57,5 %;
епоксидна смола	18,6-34,6 %;
діоксид титану	10,0-28,8 %;
біанфікс	7,2-25,7 %;
агент розливу	1,5 %;
бензоїн	0,4 %;
пігменти	решта.

Спільними ознаками прототипу і корисної моделі, що заявляється є вміст в їх складі поліефірної смоли, діоксиду титану, агенту розливу, бензоїну, пігментів. Відмінними від прототипу ознаками є використання в складі корисної моделі наповнювача у вигляді метакрилату, замість біанфіксу та зшивачого агенту у вигляді β-гідроксіалкіламіду замість епоксидної смоли.

Недоліками прототипу є низька атмосферо- та корозійна стійкість покриття.

Технічною задачею корисної моделі є поліпшення механічних властивостей і підвищення атмосферо- та корозійної стійкості покриттів з використанням як мінеральної добавки метакрилату та використання як зшивачого агенту β-гідроксіалкіламіду.

Технічним результатом є отримання поліпшених механічних властивостей і підвищеної атмосферо- та корозійної стійкості покриттів.

Властивий корисній моделі ефект поліпшення механічних властивостей та підвищення атмосферо- та корозійної стійкості покриттів, повністю є наявністю в складі порошкової фарби метакрилату та β-гідроксіалкіламіду при наступному співвідношенні сировинних компонентів, мас. %:

поліефірна смола	57,0-60,0
------------------	-----------

UA 126515 C2

β-гідроксіалкіламід	3,0-3,2
метаксолін	15,0-25,0
діоксид титану	9,9-23,0
агент розливу	1,0
бензолін	0,4
пігменти	0,5

Нижче приведений опис та характеристики сировинних компонентів, що використовуються для приготування порошкової поліефірної фарби.

Поліефірна смола за ISO 2114:2000, (β-гідроксіалкіламід за CAS No.6334-25-4 та нормативними документами, чинними в Україні, метаксолін за ТУ У В.2.7-08.1-31108651-001:2014, діоксид титану згідно ISO 591-1:2000, агент розливу згідно ISO/ASTM 52903-1:2020, бензолін згідно з нормативними документами, чинними в Україні та пігменти за ДСТУ 1438-04.

Технологічний процес виробництва таких порошкових фарб передбачає дозування поліефірних смол, зшивачих агентів, наповнювачів, пігментів та функціональних добавок в порошкову композицію, з подальшим змішуванням віддозованої суміші в міксерах роторного типу на протві 10-15 хв. Далі відбувається гомогенізація суміші в термостатних шнекових екструдерах при температурі 100...120 °С та тривалості пролягом 20...30 секунд, з подальшим видавлуванням розплаву з екструдера, його охолодженням на двох циліндрах та нарізкою так званих "чипсів". В подальшому чіпси по конвеєру транспортуються до молоткового млина для їх помелу. Розмелений продукт за допомогою потоку повітря направляється в циліндр і далі, через систему розвантажувальних фільтрів, на відсорто. На ситі велика фракція частинки відсіюється і повертається на повторний помел в млин, а товарна фракція порошкової фарби подається на фасування й пакування.

Технічний результат запропонованих порошкових фарб досягається за рахунок фізико-хімічних процесів при отриманні покриттів.

Поліпшення механічних властивостей та підвищення корозійної стійкості покриттів забезпечується участю функціональних груп метаксоліну у створенні міцних мікфазних зв'язків між поверхнею наповнювача та молекул полімерної матриці, що сприяє підвищенню експлуатаційних властивостей матеріалу. Крім цього реакція естерифікації між гідроксильними групами із зшивачого агенту та карбоксильними групами з поліефірної смоли забезпечує відмінну стійкість покриття до погодних умов. Це означає формування щільної структури покриття та, відповідно, підвищує експлуатаційні властивості матеріалу.

Для демонстрації переваг заявленого винаходу перед відомим проведено випробування з використанням як сировинних компонентів порошкової фарби наступних матеріалів:

карбоксильсване поліефірна смола виробництва компанії "Alpnek" (Німеччина);

β-гідроксіалкіламід у вигляді товарного продукту Primid XL-552 виробництва компанії "Ems-Chemie" (Швейцарія);

діоксид титану виробництва компанії "Kronos" (Сполучені Штати Америки);

метаксолін виробництва ТОВ "Західна Каспійська Компанія";

агент розливу у вигляді товарного продукту ВҮК 3800 Р виробництва компанії "ВҮК-Chemie GmbH" (Німеччина);

бензолін виробництва компанії "Estron Chemical" (Сполучені Штати Америки);

пігменти виробництва компанії "Basf" (Німеччина).

Склади порошкової фарби наведено в табл. 2. Результати випробувань покриттів на основі порошкових фарб, проведени в рівнозначних умовах, наведено в табл. 3.

Нанесення порошкової фарби виконувалось за допомогою електростатичного та трибостатичного способу згідно ISO 1514:2016.

Випробування покриттів на основі порошкових фарб виконували згідно вимог ДСТУ ISO 6272-2:2015, ДСТУ ISO 1519:2015, ДСТУ ISO 2409:2015, ДСТУ ISO 1520:2015, ДСТУ ISO 9227:2015, ISO 16474-2:2013.

Результати випробувань підтверджують переваги запропонованої порошкової фарби над відомою, що полягає у поліпшенні механічних характеристик та підвищенні атмосферо- та корозійної стійкості покриттів.

UA 126515 C2

Таблиця 2

Склади порошкової фарби

Компоненти	Вміст компонентів, мас. %, в складі							
	Прототип		Запропоновані склади порошкової фарби		3	4	5	6
	1	2						
Поліефірна смола Cyulcoat 7403	43,5	57,5			-	-	-	-
Поліефірна смола Cyulcoat 2618-3	-	-			57	57	60	60
Епоксидна смола	18,6	24,6			-	-	-	-
Гідроксіапіпамід	-	-			3	3	3,2	3,2
Діоксид титану	20,0	-			23	13	19,8	9,8
Бланфікс	15,5	16,0			-	-	-	-
Метаксолін	-	-			15	25	15	25
Агент розливу	1,5	1,5			1,0	1,0	1,0	1,0
Бензолін	0,4	0,4			0,4	0,4	0,4	0,4
Пігменти	0,5	-			0,6	0,6	0,6	0,6

Таблиця 3

Результати випробувань порошкових покриттів

Властивості	№ складу порошкової фарби							
	Прототип		Запропоновані склади порошкової фарби		3	4	5	6
	1	2						
досліджуваних порошкових покриттів								
Міцність покриття при прямому ударі, кг/см	50	100			110	110	120	120
Адгезія, бал	1	0			0	0	0	0
Міцність на згин (на коло циліндричного стрижня), мм	8	3			1	1	1	1
Еластичність при розтягу за Еріксонем, мм	5	7			9	9	10	10
Твердість за Бухгольцем	70	80			80	80	100	100
Стійкість до дії соляного туману, год.	240	480			720	720	720	720
Атмосферостійкість (прискорене випробування, 1000 год.), %, залишкового блиску	28	31			64	63	70	72

Джерела використаної інформації:

1. Patent AU 656890 B2, C08G 63/16, C08G 63/18, C08G 79/00, C09D 5/03, C09D 167/00. Coating compositions. - Publ. 21.10.1991.
2. Patent WO 1997032936 A1, C09D 5/03, C09D 5/10. Anti-corrosive coating compositions. - Publ. 12.09.1997.
3. Patent US 8138253 B2, C08K 3/26, C09D 17/00, B07B 1/00, B02C 17/00, C09C 1/02. Filler for powder coating material and powder coating composition containing the same. - Publ. 20.03.2012.
4. Патент UA 75239, C09D 5/03, C09D 163/00, C09D 167/00. Фарба порошкова. - Опубл. 15.03.2008.

ФОРМУЛА ВІНАХОДУ

Порошкова поліефірна фарба, яка містить карбоксильовану поліефірну смола як зв'язуючу речовину, діоксид титану, агент розливу, бензолін, пігменти, яка відрізняється тим, що, з метою поліпшення механічних властивостей і підвищення атмосферо- та корозійної стійкості покриттів,

UA 126515 C2

вона додатково містить наповнювач у вигляді метакрилату та зшивачний агент у вигляді β -гідроксіалкіламіду, при наступному співвідношенні інгредієнтів порошкової фарби, мас. %:

поліефірна смола	57,0-60,0
β -гідроксіалкіламід	3,0-3,2
метакрилат	15,0-25,0
діоксид титану	9,8-23,0
агент розливу	1,0
бензолін	0,4
пігменти	0,5

Комп'ютерна верстка Л. Бурага

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601

ДКПН 20.30.1

УКНД 87.040

ПОГОДЖЕНО

Державна служба України
з питань безпечності харчових
продуктів та захисту споживачів
Висновок державної санітарно-
епідеміологічної експертизи
від 10.08.2018 р.
№ 602-123-20-2/35437

ЗАТВЕРДЖЕНО

Директор ДСБ «Інспекція»
О.І. Бондаришук
« 10 » 08 2018 р.

ФАРБИ ПОРОШКОВІ

Технічні умови

ТУ У 20.3-40236146-001:2018

(Уведено вперше)

Дата надання чинності 08 10 2018 р.
Без обмеження терміну дії

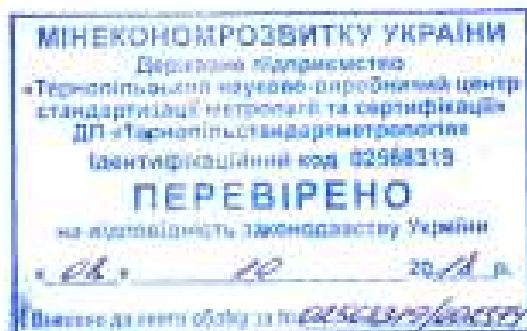


РОЗРОБЛЕНО

К.т.н., доц. каф. ТБКВ
Київського національного університету
будівництва і архітектури
Ластівка О.В.
« 10 » 08 2018 р.

Аспірант каф. ТБКВ

Київського національного університету
будівництва і архітектури
Томін О.О.
« 10 » 08 2018 р.



ТУ У 20.3-40236146-001:2018

ЗМІСТ

	С.
1 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ.....	3
2 НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ	4
3 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ	10
4 ВИМОГИ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ І ОХОРОНИ ДОВКІЛЛЯ, УТИЛІЗАЦІЯ	13
5 ПРАВИЛА ПРИЙМАННЯ.....	17
6 МЕТОДИ КОНТРОЛЮВАННЯ.....	18
7 ТРАНСПОРТУВАННЯ І ЗБЕРІГАННЯ.....	20
8 ГАРАНТІЇ ВИРОБНИКА.....	20
Додаток А Бібліографія	21



ТУ У 20.3-40236146-001:2018

1 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

Ці технічні умови (ТУ) поширюються на фарби порошкові, призначені для отримання глянцевих, напівматових, матових, текстурованих та гладких покриттів на металевих виробках різних галузей промисловості (машинобудівній, електротехнічній, автомобільній промисловості, а також у хімічному машинобудуванні) в тому числі в нафтопереробній промисловості (бурове обладнання), а також для товарів народного вжитку, які експлуатуються як в середній так і з зовні приміщень та споруд в атмосферних умовах від -50°C до $+95^{\circ}\text{C}$ далі по тексту - фарби.

Фарби випускаються трьох типів:

-поліефірна фарба, яка застосовується для фарбування виробів, які експлуатуються в атмосферних умовах та всередині приміщень.

-епоксидно-поліефірна фарба, яка призначена для фарбування виробів, які експлуатуються всередині приміщень.

-епоксидна фарба яка призначена для фарбування виробів, які експлуатуються в середній приміщень.

Порошкові фарби являють собою гомогенізовану суміш олігомерних смол, пігментів, наповнювачів та модифікаторів.

Обов'язкові вимоги до фарб, що забезпечують їх безпечність для життя, здоров'я та майна населення, охорону довкілля, викладено у розділі 4.

Ці технічні умови є власністю ТОВ "Лаковер". Передрукування та розповсюдження цих технічних умов, а також використання даних, які містяться у них, допускається тільки за наявності письмового дозволу ТОВ "Лаковер".

ТУ можуть використовуватися підприємствами (організаціями) незалежно від форм власності, громадянами-суб'єктами підприємницької діяльності тільки на умовах договору і (або) за наявності ліцензій на право виготовлення та реалізації продукції.



ТУ У 20.3-40236146-001:2018

ТУ необхідно перевіряти регулярно, але не менше одного разу на п'ять років після їх введення в дію або останньої перевірки, якщо не виникне необхідність перевірити їх раніше у випадку прийняття нормативно-правових актів, відповідних національних (міжнародних) стандартів та інших нормативних документів, якими регламентовані умови, що відрізняються від встановлених даними технічними умовами.

Приклад позначення фарби при замовленні та в іншій документації:

«Фарба порошкова поліефірна, RAL 7035 PE ТУ У 20.3-40236146-001:2018».

Продукція при позначенні може містити торгове найменування та/або знак для товарів та послуг, що прийнятні для неї на підприємстві-виробнику в установленому порядку, що не суперечить чинному законодавству.

Ці технічні умови придатні для цілей сертифікації.

2 НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ

У цих технічних умовах дані посилання на такі нормативні документи:

Закон України «Про охорону праці»

Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища»

Закон України «Про вилучення з обігу, переробку, утилізацію, знищення або подальше використання неякісної та небезпечної продукції»

ДСТУ 3105-95 (ГОСТ 26952-97) Порошки вогнегасні. Загальні технічні вимоги і методи випробувань

ДСТУ 3675-98 Пожежна техніка. Вогнегасники переносні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань

ДСТУ 3734-98 (ГОСТ 30612-99) Пожежна техніка. Вогнегасники пересувні. Загальні технічні вимоги

ДСТУ 3789:2015 Пожежна безпека. Піноутворювачі загального призначення для гасіння пожеж. Загальні технічні вимоги і методи випробування

ДСТУ 4297:2004 Пожежна техніка. Технічне обслуговування вогнегасників. Загальні технічні вимоги (ISO 11602-2:2000, NEQ)



ТУ У 20.3-40236146-001:2018

ДСТУ 4462.3.01:2006 Охорона природи. Поводження з відходами. Порядок здійснення операцій

ДСТУ 4462.3.02:2006 Охорона природи. Поводження з відходами. Пакування, маркування і захоронення відходів. Правила перевезення відходів. Загальні технічні та організаційні вимоги

ДСТУ 7234:2011 Дизайн і ергономіка. Обладнання виробниче. Загальні вимоги дизайну та ергономіки

ДСТУ 7238:2011 Система стандартів безпеки праці. Засоби колективного захисту працюючих. Загальні вимоги та класифікація

ДСТУ 7239:2011 Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація

ДСТУ 7950:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце під час виконання робіт стоячи. Загальні ергономічні вимоги

ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги

ДСТУ Б А.3.2-12:2009 ССБП. Системи вентиляційні. Загальні вимоги

ДСТУ EN 1568-1:2014 Вогнегасні речовини. Піноутворювачі. Частина 1. Вимоги до піноутворювачів, призначених для гасіння водонерозчинних горючих рідин піною середньої кратності, що подається на поверхню (EN 1568-1:2008, EN 1568-1:2008/AC:2010, IDT)

ДСТУ ISO 1519:2015 Фарби і лаки. Випробування на згин (навколо циліндричного стрижня) (ISO 1519:2011, IDT)

ДСТУ ISO 1522:2015 Фарби та лаки. Визначення твердості за м'якимковим приладом (ISO 1522:2006, IDT)

ДСТУ ISO 2535:2014 Пластмаси. Ненасичені складні поліефірні смоли. Метод визначання часу гелеутворення за температури навколишнього середовища (ISO 2535:2001, IDT)

ДСТУ ISO 3251:2015 Фарби, лаки та пластмаси. Визначення вмісту нелетких речовин (ISO 3251:2008, IDT)



ТУ У 20.3-40236146-001:2018

ДСТУ ISO 6272-1:2015 Фарби та лаки. Випробування швидкою деформацією (ударна міцність). Частина 1. Випробування падаючим вантажем, індентор великої площі (ISO 6272-1:2011, IDT)

ДСТУ ISO 6272-2:2015 Фарби та лаки. Випробування швидкою деформацією (ударна міцність). Частина 2. Випробування падаючим вантажем, індентор малої площі (ISO 6272-2:2011, IDT)

ДСТУ ISO 15528:2015 Фарби, лаки та сировини для фарб і лаків. Відбирання проб (ISO 15528:2013, IDT)

ДСТУ ГОСТ 12.2.061:2009 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам

ДСТУ ГОСТ 9980.4:2006 Матеріали лакофарбові. Маркування (ГОСТ 9980.4:2002, IDT)

ДСТУ ГОСТ 30763:2006 (ИСО 8130-9-92) Фарби порошкові. Вибір проб (ГОСТ 30763-2001 (ИСО 8130-9-92), IDT; ISO 8130-9:1992, MOD)

ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности

ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования

ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны

ГОСТ 12.1.007-76 Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности

ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования

ГОСТ 12.1.018-93 ССБТ. Пожаро-взрывобезопасность статического электричества. Общие требования

ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление

ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности

ГОСТ 12.2.007.0-75 ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности



ТУ У 20.3-40236146-001:2018

ГОСТ 12.3.002-75 ССБТ. Процессы производственные. Общие требования безопасности

ГОСТ 12.3.009-76 ССБТ. Работы погрузочно-разгрузочные. Общие требования безопасности

ГОСТ 12.4.010-75 ССБТ. Средства индивидуальной защиты. Рукавицы специальные

ГОСТ 12.4.013-85 ССБТ. Очки защитные. Общие технические условия

ГОСТ 12.4.051-87 ССБТ. Средства индивидуальной защиты органов слуха. Общие технические требования и методы испытаний

ГОСТ 12.4.103-83 ССБТ. Одежда специальная защитная, средства индивидуальной защиты ног и рук. Классификация

ГОСТ 12.4.124-83 ССБТ. Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования

ГОСТ 17.2.1.01-76 Охрана природы. Атмосфера. Классификация выбросов по составу

ГОСТ 17.2.1.04-77 Охрана природы. Атмосфера. Источники и метеорологические факторы загрязнения, промышленные выбросы. Термины и определения

ГОСТ 17.2.3.02-78 Охрана природы. Атмосфера. Правила установления допустимых выбросов вредных веществ промышленными предприятиями

ГОСТ 14192-96 Маркировка грузов

ГОСТ 20010-93 Перчатки резиновые технические. Технические условия

ГОСТ 24297-87 Входной контроль продукции. Основные положения

ГОСТ 25336-82 Посуда и оборудование лабораторные стеклянные. Типы, основные параметры и размеры

ГОСТ 27750-88 Контроль неразрушающий. Покрытия восстановительные. Методы контроля толщины покрытий

ГОСТ 27574-87 Костюмы женские для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий. Технические условия



ТУ У 20.3-40236146-001:2018

ГОСТ 27575-87 Костюмы мужские для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий. Технические условия

ГОСТ 29329-92 Весы для статического взвешивания. Общие технические требования

НАПБ А.01.001-2014 Правила пожарной безопасности в Україні

НАПБ Б.02.005-2003 Типове положення про інструктажі, спеціальне навчання та перевірку знань з питань пожежної безпеки на підприємствах, в установах та організаціях України

НПАОП 0.00-4.01-08 Положення про порядок забезпечення працівників одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту

НПАОП 0.00-4.12-05 Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці

НПАОП 0.00-4.15-98 Положення про розробку інструкцій з охорони праці

НПАОП 0.00-4.21-04 Типове положення про службу охорони праці

НПАОП 24.3-1.18-13 Правила охорони праці для виробництва лакофарбової промисловості

НПАОП 24.3-7.19-81 (ОСТ 11 091.456-81) Приготування лаків, фарб, емалей, склоемалей. Вимоги безпеки

НПАОП 24.14-5.06-90 Типова інструкція з техніки безпеки і виробничої санітарії при зберіганні, застосуванні і утилізації легкозаймистих, горючих рідин, пожежо і вибухонебезпечних хімічних речовин

НПАОП 40.1-1.21-98 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів

НПАОП 40.1-1.32-01 Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок

ДСанПН 2.2.4-171-10 Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною



ТУ У 20.3-40236146-001:2018

ДСанПіН 2.2.7.029-99 Державні санітарні правила та норми. Гігієнічні вимоги щодо поводження з промисловими відходами та визначення їх класу небезпеки для здоров'я населення

ДБН В 2.2-28:2010 Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення

ДБН В 2.5-28-2006 Природне та штучне освітлення

ДБН В.2.5-64:2012 Внутрішній водопровід та каналізація

ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування

ГН «Гранично допустимі концентрації хімічних та біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць», затв. т.я.о. головного державного санітарного лікаря України від 03.03.2015р.

ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку

ДСН 3.3.6.039-99 Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації

ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень

ПУЕ Правила улаштування електроустановок

Наказ № 246 від 21.05.2007 р Міністерства охорони здоров'я України „Про затвердження Порядку проведення медичних оглядів працівників певних категорій”.

Наказ № 248 від 08.04.2014 р Про затвердження Державних санітарних норм та правил "Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу"

Наказ МОЗ України № 145 від 17.03.2011 р. Державні санітарні правила та норми утримання територій населених місць

Постанова КМУ від 24.01.2001 р. № 50 «Про затвердження загальних вимог до здійснення переробки, утилізації, знищення або подальшого використання випущеної з обігу неякісної та небезпечної продукції»



3 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

3.1 Фарби повинна відповідати вимогам цих технічних умов та виготовлятися у відповідності з технологічною документацією та рецептурами, затвердженими в установленому порядку при дотриманні санітарних норм та права.

3.1.1 Асортимент

В залежності від використаної рецептури, фарби випускають таких найменувань:

- фарба порошкова поліефірна, далі по тексту - 1;
- фарба порошкова епоксидно-поліефірна, далі по тексту - 2;
- фарба порошкова епоксидна, далі по тексту - 3.

Примітки. 1 Фарби можуть випускати різних кольорів - в залежності від використаного пігменту у рецептурі.

3.1.2 Колір фарби, структура та ступінь блиску погоджується із замовником та вказується на маркуванні.

3.1.3 Фарби наносяться методом електростатичного розпилення (з різним способом зарядки) на попередньо нагрітій чи холодній виріб.

3.1.4 Покриття, які отримують на основі порошкових фарб при температурі (180-200)°С на протязі (10-20) хвилини являються нетоксичними.

3.2 Характеристики

3.2.1 За фізико-хімічними та органолептичними характеристиками фарби повинні відповідати вимогам, наведеним в таблиці 1.

Таблиця 1

Назва показника	Норма для фарби			Метод контролювання
	1	2	3	
Характеристики для фарб				
1 Зовнішній вигляд фарби	Однорідний тонкодисперсний порошок без грудочок та сторонніх включень			згідно з 6.4
2 Дисперсний склад, мкм - середній розмір часточок, мкм - фракція (25 - 55) мкм, %	5-100 25-55 50-60			згідно з п 6.5
3 Час гелеутворення за темпера-	200-290			згідно з ДСТУ ISO 2535

ТУ У 20.3-40236146-001:2018

тури 180 °С, с		
4 Масова частка летких речовин, %	1-3	згідно з ДСТУ ISO 3251
Характеристики для покриття		
5 Колір	У відповідності із застосованим пігментом	згідно з п.6.6
6 Блиск при куті 60 °	Згідно стандарту	згідно з п.6.6
7 Адгезія, бала, не більше	1	згідно з ГОСТ 15140 [5]
8 Міцність покриття при прямому ударі, кг/см, не менше	40	згідно з ДСТУ ISO 6272-1, ДСТУ ISO 6272-2, ГОСТ 4765 [1]
9 Твердість шівки по Вольфу та Вільборну	H-2H	згідно з ДСТУ ISO 1522, ГОСТ 5233 [2]
10 Еластичність шівки по Еріксену, мм, не менше	5	згідно з ДСТУ ISO 1519, ГОСТ 6806 [3]
11 Міцність шівки при циліндричному згині, діаметр, мм, не більше	3	ISO 1519
12 Мінімальна товщина покриттєвого шару, мм, для		згідно з ГОСТ 27750 п.6.3:
- гладкої поверхні	60	
- шпатель	80	
- муару	60	
- шпату	130 - 150	

3.3 Вимоги до сировини

3.3.1 Сировина, що використовується для виробництва фарби, повинна відповідати вимогам чинних нормативних документів або отримана по імпорту за наявності висновку державної сан-епідекекспертизі та сертифікату відповідності дозвільних документів.

3.3.2 Для виробництва фарб використовують:

- смола карбоксилатна поліефірна (карбоксилатна) отримана по імпорту за наявності висновку державної санітарно-епідеміологічної експертизи центрального органу виконавчої влади, що забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері охорони здоров'я, та сертифікату відповідності;

- смола діанова епоксидна отримана по імпорту за наявності висновку державної санітарно-епідеміологічної експертизи центрального органу виконавчої влади, що забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері охорони здоров'я, та сертифікату відповідності;



ТУ У 20.3-40236146-001:2018

- затверджувач PRIMID отримана по імпорту за наявності висновку державної санітарно-епідеміологічної експертизи центрального органу виконавчої влади, що забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері охорони здоров'я, та сертифікату відповідності;

- затверджувач модифікований діциандамід отримана по імпорту за наявності висновку державної санітарно-епідеміологічної експертизи центрального органу виконавчої влади, що забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері охорони здоров'я, та сертифікату відповідності;

- діоксид титану рутильної форми та інші пігменти згідно з чинною нормативною документацією або отримано по імпорту за наявності дозвільних документів;

- вода технічна.

3.4 Пакування

3.4.1 Фарби пакують згідно з ГОСТ 9980.3 [4], група 23.

3.4.2 Значення допустимого мінусового відхилення кількості фасованої продукції в упакованій одиниці від номінальної кількості повинне бути не більшим від границі допустимих мінусових відхилень згідно з Технічним регламентом щодо деяких товарів, які фасують за масою та об'ємом у готову упаковку, ДСТУ OIML R 87.

3.5 Маркування

3.5.1 Маркування тари з фарбою повинно виконуватись згідно з ДСТУ ГОСТ 9980.4.

3.5.2 За умови проведення сертифікації на маркуванні наводять відомості про сертифікацію

3.5.3 Транспортне маркування проводять згідно з ГОСТ 14192, з нанесенням маніпуляційного знаку "Обмеження температури" з наведенням нижньої межі "Не нижче 5 °С".

3.5.4 Маркування повинне бути чітким і виконуватись українською мовою при поставках продукції в Україні. При поставці продукції за межі України мар-



ТУ У 20.3-40236146-001:2018

кування додатково виконують тією мовою, яка вказана у договорі або контракті на постачання продукції.

4 ВИМОГИ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ І ОХОРОНИ ДОВКІЛЛЯ, УТИЛІЗАЦІЯ

4.1 Виконання вимог безпеки і охорони праці, пожежної безпеки і охорони здоров'я, а також охорони довкілля при виготовленні фарб досягається дотриманням положень "Основ законодавства України про охорону здоров'я", Законів України "Про охорону праці", "Про охорону навколишнього природного середовища", НАПБ А.01.001, НПАОП 24.3-1.18, НПАОП 24.3-7.19, НПАОП 24.14-5.06.

4.2 Використання сировини і матеріалів, показники яких невідомі, а також сировини і матеріалів, на які відсутня супровідна документація, висновки державної санітарно-епідеміологічної експертизи та сертифікати відповідності, не допускається.

Показники токсичності компонентів фарби наведені в таблиці 4

Назва сировини та компонентів	ГДК згідно з ГОСТ 12.1.005, г/м ³	Клас небезпек згідно з ГОСТ 12.1.1007	Характер токсичної дії на організм людини
Смола карбоксильна (малеїфірна) за хімічно-резовиною	5	3	викликає подразнення верхніх дихальних шляхів
Затверджувач модифікований-діциандіамід	10	3	викликає подразнення верхніх дихальних шляхів
Споксидна діацова смола на основі біофенала-А з молекулярною вагою 400-800(по епіхлоргідрину)	5	3	викликає подразнення верхніх дихальних шляхів та слизових оболонок очей. При попаданні на шкіру, в індивідуальних випадках може викликати тидерматит

13



ТУ У 20.3-40236146-001:2018

4.3 Проміщення для виготовлення фарб повинні бути забезпечені загальнооб'ємною припливно-витяжною і аварійною вентиляцією згідно з ДСТУ Б А.3.2-12 і ДБН В.2.5-67, опаленням згідно з ДБН В.2.5-67, освітленням згідно з ДБН В 2.5-28, водопроводом і каналізацією згідно з ДБН В.2.5-64, водово питного згідно з ГОСТ 2874, ДСанПіН 2.2.4-171.

4.4 Працівники повинні бути забезпечені санітарно-побутовими приміщеннями відповідно до ДБН В.2.2-28.

4.5 Параметри мікроклімату виробничих приміщень повинні відповідати ДСН 3.3.6.042.

4.6 Санітарно-гігієнічні параметри повітря у виробничих приміщеннях і вміст шкідливих речовин повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.1.005.

4.7 Рівень шуму на робочих місцях повинен відповідати вимогам ГОСТ 12.1.003 і ДСН 3.3.6.037, рівень вібрації - значень, регламентованих ДСН 3.3.6.039.

4.8 Електрообладнання, яке використовується у виробництві, повинно відповідати вимогам ГОСТ 12.2.003, ГОСТ 12.2.007.0, ГОСТ 12.1.030, ПУЕ, НПАОП 40.1-1.21, НПАОП 40.1-1.32.

4.9 Безпека технологічних процесів забезпечується дотриманням вимог техно - логічного регламенту, узгодженого і затвердженого в установленому порядку, а також ДСТУ 7234, ГОСТ 12.3.002, ДСТУ ГОСТ 12.2.061.

4.10 Робочі місця повинні відповідати вимогам ДСТУ 8604 і ДСТУ 7950, виробниче обладнання - вимогам ДСТУ 7234.

4.11 Переміщення і транспортування вантажів, а також вантажно-розвантажувальні роботи повинні виконуватися відповідно до вимог ГОСТ 12.3.002 і ГОСТ 12.3.009.

4.12 Особи, зайняті у виробництві, повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту відповідно до НПАОП 0.00-4.01. Засоби захисту, які викорне-



ТУ У 20.3-40236146-001:2018

товуються, повинні відповідати вимогам ДСТУ 7238, ДСТУ 7239, ГОСТ 12.4.010, ГОСТ 12.4.013, ГОСТ 12.4.051, ГОСТ 12.4.103, ГОСТ 20010, ГОСТ 27574, ГОСТ 27575 та інших нормативних документів, узгоджених в установленому порядку. Вибір засобів захисту визначається характером робіт, які виконуються конкретно особою.

4.13 Організації інструктажів з безпеки і охорони праці та порядок перевірки знань повинні відповідати вимогам НПАОП 0.00-4.12. До самостійної роботи з виробництва фарб допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли медичний огляд та інструктаж з безпеки праці, навчання і стажування на робочому місці, а також склали іспит на допуск до самостійної праці. Розробка інструкцій по охороні праці і ліквідації наслідків аварійних ситуацій та аварій повинна виконуватися службою охорони праці відповідно до НПАОП 0.00-4.21, НПАОП 0.00-4.15.

4.14 Особи, робота яких пов'язана зі шкідливими речовинами, повинні проходити щорічні медичні огляди відповідно до наказу МОЗ № 246 від 21.05.07.

4.15 У випадку попадання компонентів фарби на шкіру їх необхідно потерти ватним тампоном, а потім забруднене місце промити великою кількістю води. При попаданні компонентів матеріалів в очі, їх необхідно промити проточною водою, після чого закапати 3 % розчином альбуциду та звернутися за необхідності до лікаря.

4.16 Загальні вказівки з дотримання протипожежного режиму та оснащення виробничих і складських приміщень первинними засобами пожежогасіння згідно з НАПБ А.01.001, ГОСТ 12.1.004, ГОСТ 12.1.010 і ГОСТ 12.1.018.

4.17 У виробничих приміщеннях не допускаються паління, використання відкритого вогню, проведення зварювальних робіт, користування електронагрівачами і опалювальними пристроями з відкритими нагрівальними елементами, а також використання інструменту, що виділяє іскри при ударах.



ТУ У 20.3-40236146-001:2018

4.18 Як вогнетясну речовину у стаціонарних системах пожежогашіння переважно використовувати піноутворювачі загального або спеціального призначення, що відповідають ДСТУ 3789 або ДСТУ EN 1568-1.

4.19 Захист від статичної електрики повинен здійснюватися відповідно до вимог ГОСТ 12.1.018 і ГОСТ 12.4.124.

4.20 Для гашіння пожеж на початкових стадіях слід користуватися пожежною кошмою, пожежними покривалами, піском, а за необхідності - вологістими, порошковими або газовими вогнетягачами згідно ДСТУ 3675 і ДСТУ 3734 (ГОСТ 30612). Експлуатація вогнетягачів повинна здійснюватися відповідно до ДСТУ 4297.

4.21 Для гашіння пожеж з використанням пересувної протипожежної техніки використовувати воду, що подається у вигляді розсіяних струменів, повітряно-мехалічну піну, генеровану з робочих розчинів піноутворювачів загального або спеціального призначення за ДСТУ 3789 або ДСТУ EN 1568-1, а також вогнетягачі порошки згідно з ДСТУ 3105 (ГОСТ 26952).

4.22 Охорона довкілля на місці виробництва, під час транспортування і зберігання компонентів матеріалів забезпечується герметизацією обладнання і тари. Охорона атмосферного повітря забезпечується дотриманням вимог ГОСТ 17.2.1.01, ГОСТ 17.2.1.04, ГОСТ 17.2.3.02. Концентрація шкідливих викидів в атмосферу, які утворюються в процесі виробництва, не повинна перевищувати допустимих рівнів, встановлених ГН «Гранично допустимі концентрації хімічних та біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць». Відведення побутових стічних вод, їх очистка здійснюється у відповідності з вимогами постанови КМУ від 25.03.1999р. №465. Тверді побутові та промислові відходи, які утворюються в процесі виробництва, ліквіднуються у відповідності з Державними санітарними правилами і нормами утримання територій населених місць, затвердженими наказом МОЗ України №145 від 17.03.2001р.

4.23 Виробничі стічні води відсутні.



ТУ У 20.3-40236146-001:2018

4.24 З метою охорони атмосферного повітря від забруднення повинні бути організовані контроль у відповідності з ГН «Гранично допустимі концентрації хімічних та біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць», ГОСТ 17.2.3.02.

4.25 Утилізація неякісної продукції – згідно з вимогами Закону України «Про вилучення з обігу, переробку, утилізацію, знищення або подальше використання неякісної та небезпечної продукції», постанови КМУ від 24.01.2001 р. №50, ДСТУ 4462.3.01, ДСТУ 4462.3.02.

4.27 Дотримання описаних вимог контролюється під час освоєння виробництва, а також періодично в процесі роботи на вимогу органів державного нагляду (контролю).

5 ПРАВИЛА ПРИЙМАННЯ

5.1 Фарби приймаються партіями. За партію приймають будь-яку кількість фарби однорідної якості (кольору) та одного найменування, виготовлену за один технологічний цикл, що супроводжується одним документом про якість.

5.2 У документі про якість вказується:

- найменування підприємства-виробника, знак для товарів та послуг і адреса;
- номер і дата видачі документу;
- найменування продукції та її колір;
- маса нетто партії, кг;
- дата виготовлення (число, місяць, рік);
- гарантійний строк зберігання (термін придатності) та умови зберігання;
- номер партії;
- позначення цих технічних умов;
- кількість пакувальних одиниць, в партії, шт.;
- маса нетто пакувальної одиниці, кг;
- результати випробувань з висновками про відповідність продукції встановленим вимогам;



ТУ У 20.3-40236146-001:2018

- штамп служби технічного контролю або іншого спеціалізованого підрозділу (підалне представника підрозділу підприємства-виробника, відповідального за технічний контроль).

5.3 Для контролю відповідності якості фарб вимогам цих технічних умов проводять приймально-здавальні та періодичні випробування.

5.4 Приймально-здавальні випробування проводять за показниками 1, 2, 4, 5 таблиці 1, якістю пакування та відповідністю маркування, маса нетто.

5.5 Періодичним випробуванням підлягають показники 3, 6 - 11 таблиці 1, які контролюють при постановці продукції на виробництво, та не рідше одного разу на рік.

Показник 12 таблиці 1 контролюють при постановці продукції на виробництво та на вимогу контролюючої організації.

5.6 Якщо під час проведення випробувань були отримані незадовільні результати хоча б за одним показником, то відбирають подвоєну пробу і проводять повторні випробування проби, відібраної від тієї ж партії, по цим показникам. Результати повторних випробувань являються остаточними. У разі отримання негативних результатів повторних випробувань продукцію бракують.

5.7 Сертифікаційні випробування проводять за програмою органу сертифікації.

5.8 Вимоги безпеки розділу 4 контролюють у процесі підготовки і освоєння виробництва і на вимогу органів державного нагляду (контролю).

5.9 Вхідний контроль продукції проводять відповідно згідно з ГОСТ 24297 у прийнятому на підприємстві-виробнику порядку.

6. МЕТОДИ КОНТРОЛЮВАННЯ

6.1 Відбір проб здійснюється згідно з ДСТУ ГОСТ 30763, ДСТУ ISO 13528.

Відбрану пробу ділять на дві рівні частини. Одну з них піддають приймально-здавальним і/або періодичним випробуванням, а другу закладають у скляну посудину, пломбують і зберігають не менше 1 року в спеціальному



ТУ У 20.3-40236146-001:2018

приміщенні, забезпечуючи підтримання належних умов зберігання, на випадок арбітражних випробувань. Проби, відібрані на випадок арбітражних випробувань, повинні бути захищені від несанкціонованого доступу. Маса середньої проби для випробувань - не менше 0,5 кг.

6.2 Підготовка до випробувань

6.2.1 Колір, зовнішній вигляд покриття, міцність на удар, адгезію визначають на пластинках із листової холоднокатаної сталі марок 08 КП і 08 ПС по ГОСТ 16523-97

Еластичність плівки при згині визначають на алюмінієвих стрічках товщиною 0,25-0,26 мм.

Пластини готують відповідно до ГОСТ 8832-76, роз. 3

6.2.1 Фарбу наносять на холодний або прогрітий виріб методом електростатичного або трибостатичного розширення.

Покриття тверднуть в інтервалі температур (180-200°C) на протязі 10-20 хвилин.

6.3 Товщину покриття визначають за допомогою електромагнітного товщиноміра згідно з ГОСТ 27750

6.4 Зовнішній вигляд фарби і покриття проводять візуально. При природному розсіяному світлі.

6.5 Дисперсний склад фарби визначають на лазерному аналізаторі часток або методом просіювання через вібросито від 100 до 40мкм.

6.6 Колір та блиск покриття визначається на спектрофотометрі, або порівнюється з еталонним зразком при природному розсіяному світлі. Також можуть використовуватися інші вимірювальні прилади що не суперечать діючим стандартам.

6.7 Всі інші показники таблиці 1 контролюють згідно з методами, наведеними у колонці «Метод контролювання».



ТУ У 20.3-40236146-001-2018

6.7 Використання порошкової фарби повинно виконуватися відповідно з "Технологічною інструкцією нанесення захисно-декоративного покриття із порошкових фарб методом пневмоелектростатичного розпилення на виробі".

6.7 Якість пакування та відповідність зважування контролюють візуально.

6.6 Маса нетто фарби у одній тарі контролюють шляхом зважування вмісту тари на вагах для статичного зважування згідно з ГОСТ 29329 з відповідними межами зважування. За результат випробування приймають середнє арифметичне трьох зважувань.

7 ТРАНСПОРТУВАННЯ І ЗБЕРІГАННЯ

7.1 Фарби транспортують у закритій тарі всіма видами транспорту з дотриманням вимог і правил перевезення вантажів, які діють на даному виді транспорту.

7.2 Фарби зберігають у герметично закритій тарі в сухих складських приміщеннях за температури не вище 5 °С.

7.3 Під час зберігання, транспортування і виконання вантажно-розвантажувальних робіт повинні бути передбачені заходи, що забезпечують цілісність тари.

8 ГАРАНТІЇ ВИРОБНИКА

8.1 Виробник гарантує відповідність якості фарб вимогам цих технічних умов за умови дотримання правил транспортування, зберігання і використання, встановлених нами.

8.2 Гарантійний термін зберігання фарб - 12 місяців з дати виготовлення. По закінченню гарантійного терміну зберігання перед використанням порошкова фарба підлягає випробуванню на відповідність цим технічним умовам і при відповідності вимогам цих технічних умов фарба може бути використана за призначенням.



Додаток А
(довідковий)
Бібліографія

- 1 ГОСТ 4765-73 Материалы лакокрасочные. Метод определения прочности при ударе
- 2 ГОСТ 5233-89 (ИСО 1522-73) Материалы лакокрасочные. Метод определения твердости покрытий по маятниковому прибору
- 3 ГОСТ 6806-73 Материалы лакокрасочные. Метод определения эластичности пленки при изгибе
- 4 ГОСТ 9980.3-86 Материалы лакокрасочные. Упаковка
- 5 ГОСТ 15140-78 Материалы лакокрасочные. Методы определения адгезии

