

DOI: 10.32347/2522-4182.10.2022.117-123
УДК 691.57

РОЛЬ СИЛІКАТНИХ НАПОВНЮВАЧІВ У ФОРМУВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОРОШКОВИХ ПОКРИТТІВ

Володимир ГОЦ¹, Олесь ЛАСТІВКА², Олександр ТОМІН³, Вячеслав МЕГЕТЬ⁴

^{1,2,3,4} Київський національний університет будівництва і архітектури,
03037, Україна, м. Київ, просп. Повітрофлотський 31

¹v.gots@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-7103-1234>

²oles.lastivka@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-7499-4744>

³alexkp94@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-2830-9419>

⁴ss9164669@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-5903-3590>

Анотація. Сучасний стан розвитку економіки України обумовлює вирішення низки актуальних питань, пов'язаних з удосконаленням виробництва та підвищенням рівня екологічної безпеки продукції, зокрема лакофарбових матеріалів, у поєднанні із забезпеченням високих експлуатаційних властивостей покриттів на їх основі.

Формування якісних лакофарбових покриттів із тривалим терміном служби без погіршення екології довкілля при їх застосуванні, значною мірою визначається складом і фізико-механічними властивостями лакофарбових матеріалів.

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. Вирішити цю проблему можна завдяки розширенню виробництва із застосуванням екологічно чистих порошкових фарб.

В умовах зниження використання лакофарбових матеріалів на основі розчинників запропоновано застосування екологічних покриттів підвищеної корозійної стійкості на основі порошкових фарб, які містять в якості наповнювача силікати у вигляді метакаоліну та тальку.

Використання вказаних наповнювачів в складі порошкової фарби сприяє зменшенню ширину відшарування покриття та ширину корозії металу, а також класифікує отримані покриття до категорії атмосферної корозійної агре-



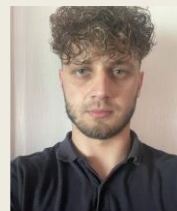
Володимир ГОЦ
завідувач кафедри
технології будівельних
конструкцій і виробів
д.т.н., професор



Олесь ЛАСТІВКА
доцент кафедри
технології будівельних
конструкцій і виробів
к.т.н., доцент



Олександр ТОМІН
аспірант кафедри
технології будівельних констру-
кцій і виробів



Вячеслав МЕГЕТЬ
аспірант кафедри
технології будівельних констру-
кцій і виробів

сивності С3 та С4 згідно з ISO 12944-2:2017, що відповідно, створює передумови для використання вказаних композицій в умовах підвищеної корозійної агресивності.

© В.ГОЦ, О.ЛАСТІВКА,
О.ТОМІН, В. МЕГЕТЬ, 2022

Ключові слова. Порошкова фарба; покриття; наповнювачі; ширина розширення корозії; адгезія; ширина відшарування фарби

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Порошкова фарба – матеріал який є одним з найбільш перспективних для створення техніко-економічного та екологічного захисного покриття для широкого асортименту будівельних виробів [1]. У хімічному відношенні виділяють дві групи порошкових лакофарбових матеріалів: на основі термопластичних і на основі термореактивних плівкоутворювачів [2, 3]. Перші утворюють покриття без хімічних перетворень, в основному за рахунок розплавлення частинок порошку і охолодження розплавів. У другому випадку відбувається процес затвердіння при нагріванні смоли, або в результаті взаємодії смоли і спеціально введеним затверджувачем [4]. Плівкоутворювачами в них служать тверді полімери та олігомери, а своєрідним розріджуючим агентом – повітря.

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 [5, 6]. 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.

Всі промислові порошкові фарби - полідисперсні системи, які, як правило, характеризуються наступним діапазоном розміру частинок, що лежить в межах від 5...60 мкм - для фарб термореактивної групи, і від 5...350 мкм - для фарб термопластичної групи [7]. В 90-х роках минулого століття в

промисловості переважав випуск термопластичних фарб. Проте на початку 21 століття різко зріс обсяг виробництва термореактивних порошкових фарб, який в даний час в різних країнах світу становить більше 80 % від загального випуску порошкових лакофарбових матеріалів, що свідчить про їх ефективність [8].

Рецептурний склад термореактивної порошкової фарби складається з п'яти основних компонентів: полімерна смола, затверджувач, пігменти, функціональні добавки і наповнювачі [9]. В цілому, полімерна смола і затверджувач відіграють основну роль в забезпеченні необхідних механічних характеристик і довговічності порошкового покриття. Однак, саме правильний вибір наповнювача сприяє регулюванню функціональних властивостей покриття, таких як твердість, блиск, міцність на згин та удар, модуль пружності, проникність та корозія [10]. Так, як наповнювачі для виготовлення порошкової фарби імпортуються з-за кордону, дослідженнями було встановлено, що використання силікатних наповнювачів Українського виробництва в складі порошкової фарби сприяє отриманню покриття з регульованими фізико-механічними характеристиками та сприяє підвищенню корозійної стійкості покриття. Найхарактернішою рисою таких наповнювачів є наявність гідроксильних груп, які відіграють визначальну роль під час взаємодії наповнювачів з термореактивними олігомерами [11].

ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою даної роботи є визначення ролі силікатних наповнювачів у вигляді метакаоліну та тальку на корозійну стійкість покриттів на основі порошкових фарб з оптимізацією їх складів.

Рецептурний склад порошкової фарби складався з наступних складових: плівкоутворюючий компонент, наповнювач, пігменти, функціональні добавки.

В якості плівкоутворюючого компоненту використано карбоксилівмісну поліефірну смолу виробництва компанії "Alnex"

Crylcoat 2441-3, характеристика якої наведено в табл.1. Для карбоксилівмісної поліефірної смоли є також обов'язковим використання структуроутворюючого затверджувача. В даній роботі використано затверджувач у вигляді тригліцидилізоціанурата (TGIC) виробництва компанії «Huangshan».

В якості плівкоутворюючого компоненту використано карбоксилівмісну поліефірну смолу виробництва компанії “Alnex” Crylcoat 2441-3, характеристика якої наведено в табл. 1

Табл. 1. Характеристика плівкоутворюючого компоненту
Table 1. Characteristics of the film-forming component

Тип смоли	Показники					
	Зовнішній вигляд	Блиск 600, %	В'язкість, 200°C, мПа-с	Температура склування, °C	(КОН/г	Режим твердіння
2441-3	гранули	67	4000-5200	67	30-35	200C 10хв

Для карбоксилівмісної поліефірної смоли є також обов'язковим використання структуроутворюючого затверджувача. В даній роботі використано затверджувач у вигляді тригліцидилізоціанурата (TGIC) виробництва компанії «Huangshan».

В якості білого пігменту використано діоксид титану компанії “Kronos” марки K-2190. В якості добавки реологічної дії використано агент розливу Resiflow PV88 компанії “Estron chemical” в кількості 1 % від маси порошкової фарби. В якості дегазатора використано бензоїн виробництва “Estron

chemical” в кількості 0,6 % від маси порошкової фарби.

В якості наповнювача використано силікати у вигляді метакаоліну Глуховецького родовища, а також тальку виробництва «IMIFABІ». При цьому в якості контрольного складу було обрано композицію порошкової фарби, що вміщує в своєму складі еталонний наповнювач у вигляді сульфату барію. Характеристика наповнювачів наведено в табл. 2

Табл. 2. Характеристика наповнювачів
Table 2. Characteristics of fillers

Наповнювач	Характеристика					
	Вигляд	pH	Oil absorption, G/100g	Вологість, %	Розмір частин, мкм	Форма наповнювача
Тальк	порошок	6,7	36	0,2	7,3	сферична
Метакаолін	порошок	6,1	35,4	0,03	10,03	пластинчаста
Сульфат барію (еталонний наповнювач)	порошок	7,86	16,1	0,074	1,87	кубічна

Методи досліджень. Дослідження впливу силікатних наповнювачів у вигляді метакаоліну та тальку на корозійну стійкість покриття на основі порошкових фарб проведено в наступній послідовності:

1. На пластини (розміром 150x60 мм) зі сталі Ст3, було нанесено порошкову фарбу різних складів з використанням в

її складі наповнювача у вигляді метакаоліну. Нанесення порошкової фарби відбувалось за допомогою електростатичного способу згідно ISO 1514:2016 з використанням розпилювального пістолету Start 50.

2. Твердіння порошкового покриття на зразках-пластинах здійснювалось в

печі полімеризації при температурі 200 °С та часі 10 хв.

- Дослідження корозійної стійкості декоративно-захисних порошкових покриттів з використанням силікатних наповнювачів проведено в камері сольового туману з конденсацією 5 % водного розчину хлориду натрію (NaCl) на поверхні зразків протягом 720 годин при температурі 35 °С згідно ASTM B-117. Середнє відшарування покриття та розвиток корозії металу після випробування було визначено згідно методики ДСТУ ISO 4628-8:2012.

Результати досліджень. Композицію порошкової фарби готували шляхом спільного змішування віддозованих сировинних мате-

ріалів в міксерах роторного типу з подальшою гомогенізацією суміші (при температурі 80...120 °С) в термостатних шнекових змішувачах (екструдерах), видавлюванням пастоподібної суміші з екструдера, її охолодженням, та подрібненням на спеціальних млинах.

Як фактори варіювання у складі композицій порошкової фарби було обрано вміст поліефірної смоли (50 – 70 %), наповнювача у вигляді метакаоліна або тальку (0 – 40 %), а також пігменту у вигляді діоксиду титану (10 – 20 %) зверх 100 % від маси композиції. Рівні варіювання змінних факторів наведено в таблиці 3. Результати досліджень корозійної стійкості захисних порошкових покриттів наведено на рис. 1, рис. 2.

Табл. 3. Інтервали варіювання та значення параметрів

Table 3. Intervals of variation and values of parameters

Фактори, вигляд		Рівні варіювання			Інтервал варіювання
натуральний	кодований	верхній	середній	нижній	
Вміст поліефірної смоли, %	X ₁	65	55	45	100
Вміст наповнювача, %	X ₂	40	20	0	20

Результати досліджень свідчать про те, що введення до складу порошкової фарби силікатних наповнювачів у вигляді метакаоліну та тальку в загальному випадку дозволяє підвищити корозійну стійкість шляхом зменшення ширини відшарування покриття та ширини корозії металу порівняно з контрольним складом.

Ефективність використання метакаоліну та тальку залежить від їх вмісту та витрати поліефірної смоли.

Введення 40 % метакаоліну до складу порошкової фарби (рис. 1) сприяє зменшенню відшарування покриття з 18,25 мм (контрольний склад) до 3,63 мм, та ширину корозії металу з 13,75 мм (контрольний склад) до 4,2 мм при вмісті поліефірної смоли 50 %. Зі зростанням поліефірної смоли в системах до 65 % при вмісті 40 % метакаоліну також спостерігається зменшення відшарування покриття до 2,75 мм, та ширини корозії металу

до 2,6 мм в порівнянні з контрольним складом – ширина відшарування покриття 18,25 мм; корозія металу 13,75 мм.

Необхідно відмітити, що введення метакаоліну у кількості 20 % (рис. 1) та вмісті смоли в межах 45 - 65 %, сприяє найменшому відшаруванню покриття – 2,13 мм, та низькій ширині корозії металу – 1,38 мм, тоді як контрольна система (без метакаоліну) – 18,25 мм (ширина відшарування покриття), 13,75 мм (ширина корозії металу). Підвищення корозійної стійкості покриттів забезпечується участю функціональних груп метакаоліну у створенні міцних міжфазних зв'язків між поверхнею наповнювача та молекул полімерної матриці, що визначає формування щільної структури покриття та, відповідно, підвищує експлуатаційні властивості матеріалу.

За результатами випробування встановлено, що розроблені склади порошкової фарби з силікатним наповнювачем у вигляді

метакаоліну з діапазоном його вмісту 20...30 % можна класифікувати до категорії атмосферної корозійної агресивності – С4 висока «Промислові райони та прибережні райони з помірною солоністю» згідно з ISO

12944-2:2017 при класі високої (H) довговічності від 15 до 25 років у відповідності до ДСТУ ISO 12944-1, що підтверджує їх високу ефективність



Рис. 1. Ізопараметричні діаграми з використанням метакооліну в складі порошкових фарб:

а – зміна ширини відшарування покриття;

б – зміна ширини корозії металу.

Fig. 1. Isoparametric diagram with using metakaolin in powder coating:

a – change in the peeling width;

b – change in the metal corrosion width.

При використанні наповнювача у вигляді тальку в складі поліефірної порошкової фарби (рис. 2) виявлено, що його введення в кі-

лькості 10 % також сприяє зменшенню ширини відшарування покриття з 18,25 мм (контрольного складу) до 14,2 мм.

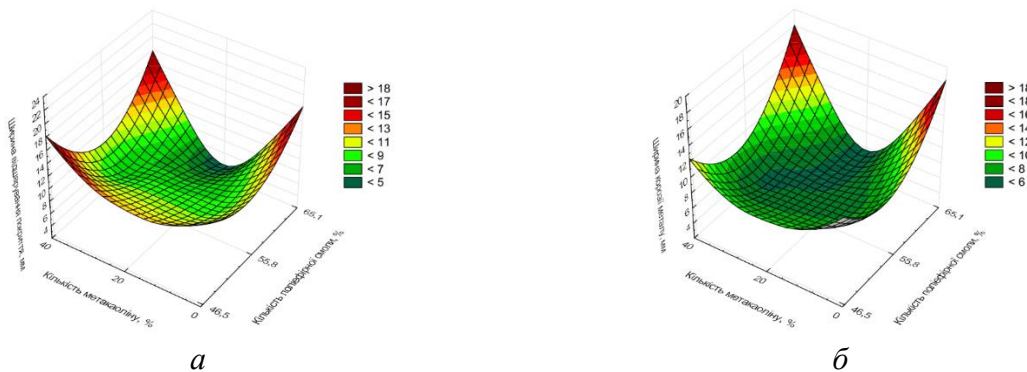


Рис. 2. Ізопараметричні діаграми з використанням тальку в складі порошкових фарб:

а – зміна ширини відшарування покриття;

б – зміна ширини корозії металу.

Fig. 2. Isoparametric diagram with using talk in powder coating:

a – change in the peeling width;

b – change in the metal corrosion width.

При цьому спостерігається й зниження ширини корозії металу з 13,75 мм до 9,8 мм. Збільшення вмісту тальку до 20...30 % в порошкових системах сприяє зниження ширини відшарування покриття до 10,37 мм, та ширини корозії металу до 8,4 мм. Зі збільшенням вмісту тальку до 40 % спостерігається часткове зростання ширини відшару-

вання покриття до 14,5 мм, та ширини корозії металу до 10,7 мм, однак дані показники є меншими на 28 % та 35 %, відповідно, порівняно з контрольним складом

Таким чином, розроблені складі поліефірної порошкової фарби з силікатним наповнювачем у вигляді тальку з вмістом 20 % можна класифікувати до категорії атмосферної

корозійної агресивності – С3 середня «Міська та промислова атмосфера, помірне забруднення діоксидом сірки; прибережні райони з низькою солоністю згідно з ISO 12944-2:2017 при класі високої (H) довговічності від 15 до 25 років у відповідності до ДСТУ ISO 12944-1, що також підтверджує їх ефективність.

Аналіз результатів досліджень свідчить про те, що ефективність використання наповнювачів метакаоліну та тальку в складі порошкової фарби підвищується пропорційно збільшенню їх вмісту в системі. Оптимальна область порошкової фарби з метакаоліном та тальком, обмежена вмістом добавки в діапазоні 20...30 % та вмістом поліефірної смоли 55...65 %. 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 С3 та С4 згідно з ISO 12944-2:2017 при класі високої (H) довговічності від 15 до 25 років у відповідності до ДСТУ ISO 12944-1.

ВИСНОВКИ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

За результатами досліджень отримано екологічні лакофарбові покриття підвищеної корозійної стійкості на основі порошкових фарб, які містять в якості наповнювача силікати у вигляді метакаоліну та тальку. Використання вказаних наповнювачів в складі порошкової фарби сприяє зменшенню ширини відшарування покриття до 2,13 мм та ширини корозії металу до 1,38 мм після випробування в камері сольового туману з конденсацією 5 % водного розчину хлориду натрію, а також класифікує отримані покриття до категорії атмосферної корозійної агресивності С3 та С4 згідно з ISO 12944-2:2017, що відповідно, створює передумови для використання вказаних композицій в умовах підвищеної корозійної агресивності.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Richart D.S.** Powder Coating – Past, Present and

- Future: A Review of the State of the Art / D.S. Richart // *Powder Coating*, 1990. – pp. 16-24.
2. **Spyrou V.E.** Powder Coatings - Chemistry and Technology / V.E. Spyrou // *European Coatings Tech Files 3rd*, 2004. – 384 p.
3. **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*.
4. **Liberto N.** Powder Coating: The Complete Finisher's Handbook - 4th Edition / N.Liberto // *Powder Coating Institute*, 2012. – 466 p.
5. **Muller B.** Coatings Compendia – Coatings Formulation / B. Muller, U. Poth // *Powder Coating Institute*, 2006. – 212 p.
6. **Gots V I.** Fillers for modification of polyester powder coating / V. I. Gots, O.V. Lastivka, O.O. Tomin, S.A. Tymoshenko // *Materials Science and Engineering. – Innovative Technology in Architecture and Design 6*, 2020. – pp.1-7.
7. **Grenda W.** European Coatings / W. Grenda, E. Spyrou // *Congress Papers European Coatings Congress (ECS), Nuremberg*, 2011. – 113 p.
8. **Kiefer, S.L.** Powder Coating Material Developments Promise New Opportunities for Finishers / S.L. Kiefer // *Metal Finishing*, 2004. – pp. 35-37.
9. **Gots V.** Influence of Film-Forming Components on the Corrosion Resistance of Powder Coating / V. Gots, O. Lastivka, O. Tomin, O. Kovalchuk // *Materials Science Forum*, 2019. – Vol. 968. – pp. 143-152
10. **Gots V.I.** Corrosion resistance of polyester powder coatings using fillers of various chemical nature / V.I. Gots, O.V. Lastivka, O.Y. Berdnyk, O.O. Tomin, P.S. Shilyuk // *Key Engineering Materials*, 2020. – Vol. 864. – 115-121.
11. **Wicks Z.W.** Organic coatings. Science and technology / Z.W. Wicks, F.N. Jones, S.P Pappas // *Chichester: John Wiley & Sons*, 1994. – 438 p.

REFERENCES

1. **Richart D.S.** Powder Coating – Past, Present and Future: A Review of the State of the Art / D.S. Richart // *Powder Coating*, 1990. – pp. 16-24.
2. **Spyrou V.E.** Powder Coatings - Chemistry and Technology / V.E. Spyrou // *European Coatings Tech Files 3rd*, 2004. – 384 p.

3. **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*.
4. **Liberto N.** Powder Coating: The Complete Finisher's Handbook - 4th Edition / N.Liberto // *Powder Coating Institute, 2012*. – 466 p.
5. **Muller B.** Coatings Compendia – Coatings Formulation / B. Muller, U. Poth // *Powder Coating Institute, 2006*. – 212 p.
6. **Gots V I.** Fillers for modification of polyester powder coating / V. I. Gots, O.V. Lastivka, O.O. Tomin, S.A. Tymoshenko // *Materials Science and Engineering. – Innovative Technology in Architecture and Design 6, 2020*. – pp.1-7.
7. **Grenda W.** European Coatings / W. Grenda, E. Spyrou // *Congress Papers European Coatings Congress (ECS), Nuremberg, 2011*. – 113 p.
8. **Kiefer, S.L.** Powder Coating Material Developments Promise New Opportunities for Finishers / S.L. Kiefer // *Metal Finishing, 2004*. – pp. 35-37.
9. **Gots V.** Influence of Film-Forming Components on the Corrosion Resistance of Powder Coating/ V. Gots, O. Lastivka, O. Tomin, O. Kovalchuk // *Materials Science Forum, 2019*. – Vol. 968. – pp. 143-152
10. **Gots V.I.** Corrosion resistance of polyester powder coatings using fillers of various chemical nature / V.I. Gots, O.V. Lastivka, O.Y. Berdnyk, O.O. Tomin, P.S. Shilyuk // *Key Engineering Materials, 2020*. – Vol. 864. – 115-121.
11. **Wicks Z.W.** Organic coatings. Science and technology / Z.W. Wicks, F.N. Jones, S.P Pappas // *Chichester: John Wiley & Sons, 1994*. – 438 p.

THE ROLE OF SILICATE FILLERS ON THE FORMATION PROPERTIES OF POWDER COATINGS

Стаття надійшла до редакції 10.05.2022

*Volodymyr GOTS, Oles LASTIVKA,
Oleksandr TOMIN, Vyacheslav MEHET*

Summary. The current state of the Ukrainian economy causes to resolve a range of questions related to the improvement of production and increase in the ecological safety of products, including paint-and-varnishes materials, in combination with ensuring high operational properties of coatings based on them.

The formation of high-quality paints and varnishes with a long service life without compromising the ecology of the environment when using them, is largely determined by the composition and physical and mechanical properties of paints and varnishes.

The main disadvantage of using liquid paints and varnishes traditional for the Ukrainian market range is the content of solvents in their composition up to 40%, which inevitably leads to their emission during production and application, as well as environmental pollution. This problem can be solved by scaling up production using eco-friendly powder coating.

According to the research results, we have obtained eco-friendly paint-and-varnishes coatings of high corrosion resistance based on powder coating containing silicates as a filler in the form of metakaolin and talc.

Using the mentioned range of fillers in the powder coating contributes to the decrease in the peeling width to 2.13 mm and metal corrosion width to 1.38 mm after testing in the salt spray chamber with the condensation of 5 % of the sodium chloride water solution and places obtained coatings into atmospheric corrosivity categories C3 and C4 according to ISO 12944-2:2017, which creates conditions for using these compositions in the context of the excessive corrosivity.

Keywords. Powder coatings; fillers; width of corrosion expansion; adhesion; width of coating peeling.