УДК 621.45.038.7 DOI: 10.31650/2415-377X-2021-83-47-57

ЕФЕКТИВНІСТЬ ДІЇ МОДИФІКУЮЧИХ ДОБАВОК В ПОРОШКОВИХ ЛАКОФАРБОВИХ МАТЕРІАЛАХ

[1]**Гоц В.І.,** д.т.н., професор,
v.gots@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7103-1234
[1]**Ластівка О.В.**, к.т.н. доцент,
oles.lastivka@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7499-4744
[1]**Томін О.О.**, аспірант,
alexkp94@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2830-9419
[1]*Київський національний університет будівництва і архітектури*
пр. Повітрофлотський, 31, м. Київ, 03037, Україна

Анотація. Порошкові фарби – один з найбільш перспективних видів лакофарбових матеріалів для промислового використання. Їх основними перевагами є: відсутність розчинників, практично безвідходна технологія нанесення покриття (ступінь утилізації порошку при застосуванні наближається до 100 %), відносна простота та економічність в процесі виробництва покриття. За результатами досліджень виявлено, що 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 у вигляді Byk-3900P та поліоксіетилену похідного касторової олії у вигляді Luvotix R400, 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. В той час, добавки реологічної дії на основі бентонітової глини у вигляді Luvogel 4B та гідрофільного діоксиду кремнію у вигляді Cab-o-sil M5 призводять до підвищення поверхневого натягу в плівці покриття, що в свою чергу погіршує розтікання, візуальний вигляд та механічні властивості порошкового покриття.

Ключові слова: порошкова фарба, покриття, модифікуючі добавки, розтікання, змочуваність, дегазація, ударна міцність.

Вступ. Порошкова фарба – матеріал який є одним з найбільш перспективних при створенні техніко-економічного та екологічного декоративно-захисного покриття для широкого асортименту будівельних виробів та конструкцій. Насамперед порошкові фарби, які відіграють естетичну роль у покращенні зовнішнього вигляду виробу, забезпечують при цьому високу механічну та хімічну стійкість покриття [1, 2].

Швидкі темпи розвитку виробництва порошкових фарб, в порівнянні з рідкими лакофарбовими матеріалами, свідчать про їхню важливість, високу ефективність і перспективність [3, 4]. Зростання популярності порошкових фарб пояснюється їх екологічною повноцінністю і привабливістю з точки зору охорони навколишнього середовища, а також високою ефективністю, яка пов’язана з можливістю отримувати при одношаровому нанесенні високоякісні захисно-декоративні покриття. Разом з тим, очевидно, що за відносно короткий період свого розвитку сучасні порошкові лакофарбові матеріали не вичерпали всі можливості вдосконалення рецептур і розширення асортименту, а також модернізації технології їх виробництва [5].

Рецептурний склад термореактивної порошкової фарби складається з п'яти основних компонентів: полімерна смола, затверджувач, пігменти, наповнювачі і функціональні добавки [6]. В цілому, полімерна смола і затверджувач відіграють основну роль в забезпечені

необхідних механічних характеристик і довговічності порошкового покриття. При цьому роль функціональних (модифікуючих) добавок надзвичайно важлива для отримання характеристик, які часто є фундаментальною вимогою для задоволення заздалегідь визначених технічних специфікацій продукту та потреб кінцевих користувачів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У хімічному відношенні виділяють дві групи порошкових фарб: на основі термопластичних і на основі термореактивних плівкоутворювачів [7]. Перші утворюють покриття без хімічних перетворень, в основному за рахунок розплавлення частинок порошку і охолодження розплавів. Плівкоутворювачами для термопластичних порошкових фарб в основному є: поліетилен, полівінілхлорид, поліаміди, сополімери етилену з вінілацетату, насичені поліефіри. Їх застосовують для отримання покриттів, до декоративних властивостей яких не пред'являються високі вимоги.

У другому випадку відбувається процес затвердження при нагріванні смоли, або в результаті взаємодії смоли і спеціально введеним затверджувачем. В якості плівкоутворювачів використовують епоксидні, поліефірні, акрилатні і деякі інші смоли, наприклад, на основі бісфенолу F і новолаків. Враховуючи великий обсяг виробництва термореактивних порошкових фарб в світі доцільним є вивчення впливу модифікуючих добавок на формування властивостей порошкових фарб та покриттів на їх основі.

Добавки відіграють важливу роль у формуванні властивостей порошкових фарб та покриттів на їх основі, оскільки вони стали невід’ємною їх частиною з декількох основних причин: регулювання реологічних властивостей, поверхневих дефектів, а також світло та термостабілізації покриттів. При цьому на думку Річарда [8] “ідеальна” добавка для порошкових фарб та покриттів на їх основі повинна відповідати наступним вимогам: тверда, у вигляді дрібного порошку з кристалічною температурою плавлення Tg > 50 °C; хімічно не реагує зі зв’язуючою речовиною та затверджувачем; 100 % активна; ефективна при низькому рівні додавання.

Тому сучасний підхід до виробництва порошкових фарб передбачає покращення їх властивостей за рахунок використання комплексних модифікаторів, які сприяють отриманню високих фізико-механічних та експлуатаційних властивостей порошкового лакофарбового матеріалу.

Метою роботи є визначення впливу модифікуючих добавок на формування властивостей порошкового покриття.

Сировинні матеріали та методи досліджень. *Обґрунтування вибору сировинних матеріалів для отримання порошкових фарб та покриттів на їх основі.* В якості плівкоутворюючого компоненту використано карбоксиловмісну поліефірну смолу виробництва компанії “Alnex” Crylcoat 2618-3, характеристика якої наведено в табл. 1. Для карбоксиловмісної поліефірної смоли є також обов’язковим використання структуроутворюючого затверджувача. В даній роботі використано Primid XL-552 виробництва компанії «EMS-Griltech». В якості наповнювача використано силікат у вигляді метакаоліну Глуховецького родовища, який згідно аналізу [9, 10] забезпечує отримання порошкового покриття з високими фізико-механічними та експлуатаційними характеристиками. В якості модифікуючих добавок використано добавки двох різних груп: 1 – реологічної дії; 2 – дегазуючої дії.

Таблиця 1 – Характеристика плівкоутворюючого компоненту

Тип смоли	Показники					
	Зовнішній вигляд	Блиск 200/600, %	В’язкість по Брукфільду 200ºС, мПа-с	Температура склування, ºС	Число кислотності (мг КОН/г)	Температура та час твердіння
Crylcoat 2618-3	Непрозорі гранули	67	4000-5200	60	30-35	180С 10хв

Плівкоутворення, а також плинність термореактивних порошкових покриттів регулюються двома основними параметрами, а саме поверхневим натягом та в'язкістю розплаву [11]. Поверхневий натяг є основною рушійною силою (при заданому режимі

твердіння), що викликає розтікання порошкового покриття. Єдиним опором до розтікання є показник в'язкості розплавленого покриття в умовах його твердіння. Отже, добавки, що регулюють реологічні властивості порошкового покриття можна більш точно визначити як «модифікатори поверхневого натягу».

В якості модифікаторів поверхневого натягу першої групи використано добавки різної природи: а) поліакрилат адсорбований на діоксиді кремнію у вигляді Byk-3900P «Byk Germany»; б) поліоксіетиленовий похідний касторової олії у вигляді Luvotix R400 «Lehmann&Voss&Co Germany»; в) модифікована бентонітова глина у вигляді Luvogel 4B «Lehmann&Voss&Co Germany»; г) гідрофільний діоксид кремнію у вигляді Cab-o-sil M5 «Cabot».

Для уникнення утворення мікротріщин в порошкових покриттях необхідним є також виділення захопленого ними повітрям під час розтікання в процесі їх твердіння. Це пов’язано з тим, що під час фази зшивання порошкового покриття, в'язкість його різко зростає, що призводить до зниження виділення летючих речовин, захоплених плівкою покриття та негативно впливає на формування фізико-механічних та експлуатаційних властивостей матеріалу. Тому для отримання високої якості плівки порошкового покриття доцільним є використання в їх складі добавок дегазуючої дії.

В якості модифікаторів дегазуючої дії використано добавки різної природи: а) модифікований гідроксікетон у вигляді *Benzoin* «Tech-Power Huangshan ltd»; б) модифікований поліетилен у вигляді *Ceraflour 962* «Byk Germany»; в) мікронізований етилен-біс-стеарамід у вигляді *Ceratan MA7019* «Munzing»; г) кисневмісне високомолекулярне кремнієве з’єднання у вигляді *Powderadd 9423* «Lubrizol».

Дослідження властивостей декоративно-захисних порошкових покриттів з використанням різних груп модифікуючих добавок проведено в наступній послідовності:

1. На пластини (розміром 150×60 мм) зі сталі Ст3, було нанесено порошкову фарбу (кольору RAL 9016) з використанням в її складі білого пігменту у вигляді діоксиду титану марки K-2190 компанії “Kronos”. Нанесення порошкової фарби відбувалось за допомогою електростатичного способу згідно ISO 1514:2016 з використанням розпилювального пістолету Start 50.

2. Затвердіння порошкового покриття на зразках-пластинах здійснювалось в печі полімеризації при температурі 180 ºС, та часі 10 хв.

3. Дослідження розстікання виконано згідно з ISO 8130-11:2019 [12], який встановлює метод визначення реологічних властивостей розплавленого покриття з термотвердіючого порошку на площині, нахиленій під заданим кутом до горизонталі. Сутність методу полягає в наступному: порошкова фарба, при заданому тиску спресовувалась в таблетку та розміщувалась на похилу нагріту поверхню, яку піддають плавленню, спостерігають за спіканням протягом заданого часу та вимірюють швидкість стікання по похилій поверхні.

4. Визначення ударної міцності покриття до зворотного удару виконано згідно ДСТУ ISO 6272-2:2015 [13]. Метою даного контролю є випробування на швидку деформацію порошкових покриттів і оцінку їх міцності до розтріскування і/або відшарування від поверхні, що фарбується, коли вони піддаються деформації під впливом падаючого вантажу заданої ваги зі сферичним бойком.

5. Визначення міцності на згин покриття виконано згідно ДСТУ ISO 1519:2015 [14]. Метою цього тесту є оцінка стійкості порошкових покриттів до розтріскування і (або) відшаровування від субстрату (підкладки) до згину, шляхом згинання досліджуваних пластин покриття навколо циліндричного стрижня за допомогою випробувального приладу, який оснащений комплектом шарнірів, кожен з яких з'єднаний з циліндричним стрижнем відповідного діаметру.

Результати досліджень. Композицію порошкової фарби готували шляхом спільного змішування віддозованих сировинних матеріалів в міксерах роторного типу з подальшою гомогенізацією суміші (при температурі 80...120 ºС) в термостатних шнекових змішувачах (екструдерах), видавлюванням пастоподібної суміші з екструдера, її охолодженням, та

подрібненням на спеціальних млинах. В якості контрольного складу було обрано порошкову фарбу з наступним співвідношенням сировинним матеріалів: Crylcoat 2618-3 – 60 %; Primid XL-552 – 3,2 %; Метакаолін – 20 %; TiO_2 – 16,8 %. Модифікуючі добавки вводили зверх 100 % маси компонентів порошкової фарби контрольного складу. Склади досліджуваних порошкових фарб на основі контрольного складу із використанням модифікуючих добавок та результати їх досліджень наведено в табл. 2, табл. 3.

Таблиця 2 – Вплив добавок реологічної дії на формування властивостей покриття

Склад № п/п	Реологічні добавки				Візуальна оцінка*	Розтікання, см	Ударна міцність см/кг	Гнуч-кість
	BYK 3900P	Luvotix R400	Luvogel 4B	CAB-O-SIL M5				
1	0.5	-	-	-	+	3.5	60	8
2	1.0	-	-	-	+++	4.0	80	8
3	-	0.5	-	-	-	3.2	50	8
4	-	1.0	-	-	+	3.3	60	8
5	-	-	0.5	-	-	2.7	15	10
6	-	-	1.0	-	-	2	5	12
7	-	-	-	0.5	-	2.9	20	10
8	-	-	-	1.0	-	2.2	10	12
9	1.0	0.5	-	-	+++	4.5	90	8
10	1.0	-	0.5	-	+++	3.0	30	8
11	1.0	-	-	0.5	++	3.1	40	8
12	1.0	1.0	-	-	+++	5.0	80	8
13	1.0	-	1.0	-	+	2.2	15	8
14	1.0	-	-	1.0	+	2.4	20	8

*Примітка: – -негативно, + - задовільно, ++ - добре, +++ - відмінно.

Таблиця 3 – Вплив добавок дегазуючої дії на формування властивостей покриття

Склад № п/п	Реологічні добавки				Візуаль-на оцінка*	Розтікан-ня, см	Ударна міцність см/кг	Гнуч-кість
	Benzoin	Ceretan MA7019	Ceraflour 962	Powder add 9423				
1	0.3	-	-	-	++	3.5	60	8
2	0,6	-	-	-	+	4.0	80	8
3	-	0.5	-	-	-	3.3	30	8
4	-	1	-	-	+	3.4	40	8
5	-	-	0.5	-	-	2.7	15	10
6	-	-	1	-	-	2	5	12
7	-	-	-	0.5	-	2.9	20	10
8	-	-	-	1	-	2.2	10	12
9	0.3	0.5	-	-	+++	4.5	80	8
10	0.3	-	0.5	-	+++	3.0	30	8
11	0.3	-	-	0.5	++	3.1	40	8

*Примітка: – -негативно, + - задовільно, ++ - добре, +++ - відмінно.

За результатам досліджень виявлено, що добавки реологічної дії (табл. 2) по різному впливають на формування властивостей порошкового покриття. Так, за критерієм візуальної оцінки порошкового покриття одним з найбільш ефективним є застосування добавок на основі поліакрилату адсорбованого на діоксиді кремнію у вигляді Byk-3900P. Введення даної добавки у кількості 1 % за мас. сприяє збільшенню показника розтікання з 3,0 до 4,0 см, отриманню

гладкого порошкового покриття та перешкоджає утворенню помітних візуальних дефектів (рис. 1). В той же час, порошкове покриття, без застосування вказаної добавки, характеризується наявністю дрібних голчастих отворів, та утворенню ефекту «апельсинової кірки» (рис. 1, 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. Однак, 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.

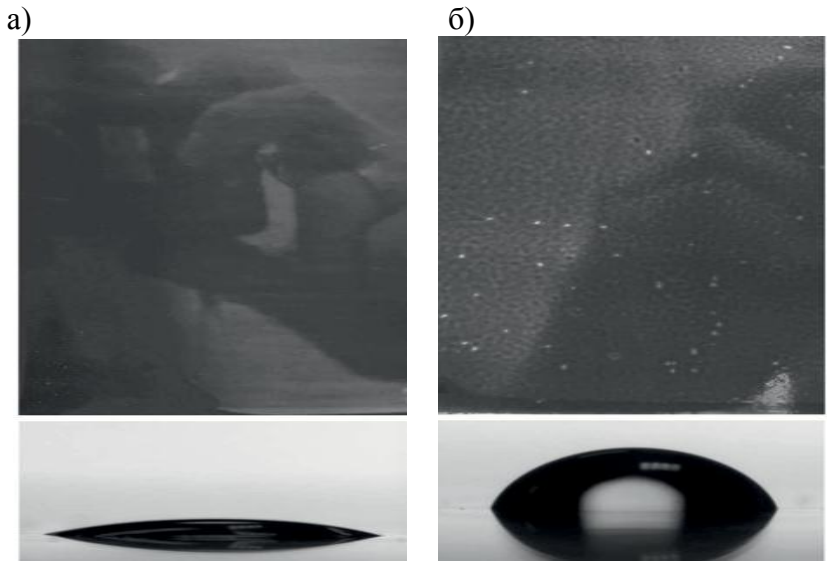

Рис. 1. Вплив добавки реологічної дії на зовнішній вигляд та кути змочування порошкового покриття:
а – з добавкою Byk-3900P; б – без добавки

Слід також відмітити, що введення добавки у вигляді Byk-3900P сприяє підвищенню ударної міцності покриття до дії зворотного удару з 50 см/кг (контрольний склад) до 80 см/кг (рис. 2) та міцності на згин (8 мм).

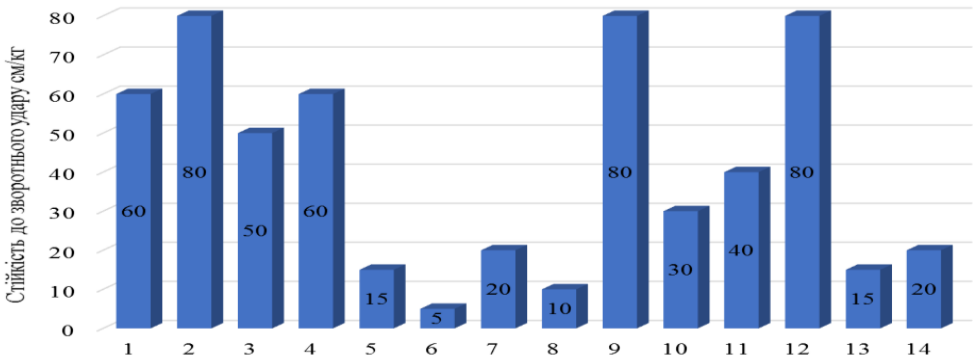

Рис. 2. Стійкість покриття до дії зворотного удару складів порошкових покриттів (згідно табл. 1)

Використання добавки на основі поліоксіетиленової похідної касторової олії у вигляді Luvotix R400 сприяє збільшенню показника розтікання з 3,0 см до 3,2…3,3 см, однак не забезпечує високу гладкість покриття (рис. 3) на якому спостерігається ефект «апельсинової кірки». Введення добавки сприяє також підвищенню ударної міцності покриття до дії зворотного удару з 50 см/кг (контрольний склад) до 60 см/кг (рис. 2) та міцності на згин (8 мм).

а) б)

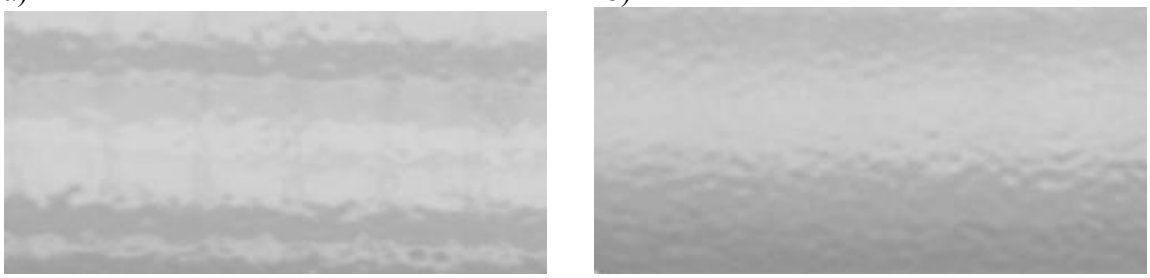

Рис. 3. Візуальний вигляд покриття з використанням Luvotix R400, %:
а – 1,0; б – 0,5

Використання добавки на основі модифікованої бентонітової глини у вигляді Luvogel 4B призводить до зниження показника розтікання покриття з 3,0 до 2,0 см та погіршення гладкості покриття з утворенням, так званого «текстурного покриття» (рис. 4). При цьому спостерігається різке зниження механічної стійкості покриття: зниження ударної міцності до дії зворотного удару з 50 до 5 см/кг та міцності на згин до 12 мм. Це пов'язано з тим, що добавки у вигляді бентонітових глин являють собою високодисперсні модифіковані шаруваті силікати, які володіють високою звязуючою здатністю, адсорбційною і каталітичною активністю, що відповідно, знижує розтікання і змочуваність порошкових систем та погіршує гладкість покриття і їх фізико-механічні характеристики.

а) б)

Рис. 4. Візуальний вигляд покриття з використанням Luvogel 4B, %:
а – 1,0; б – 0,5

Введення добавки на основі гідрофільного діоксиду кремнію у вигляді Cab-o-sil M5 також призводить до зниження показника розтікання покриття з 3,0 до 2,2 см та погіршення гладкості покриття з утворенням, так званого «текстурного покриття» (рис. 5). При цьому спостерігається зниження ударної міцності до дії зворотного удару з 50 до 10 см/кг та міцності на згин до 12 мм.

а) б)

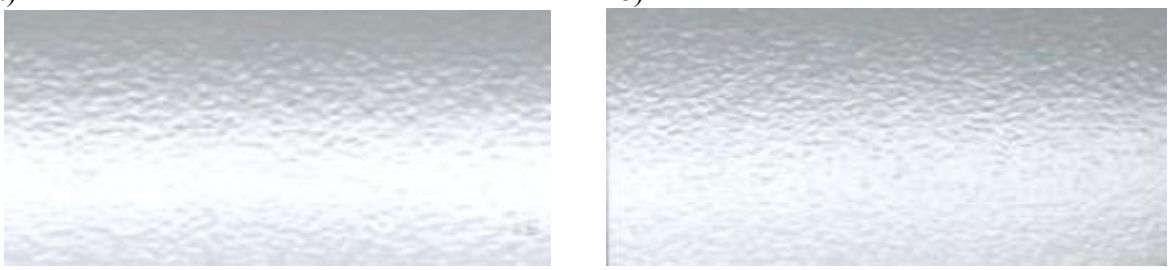

Рис. 5. Візуальний вигляд покриття з використанням Cab-o-sil M5, %:
а – 1,0; б – 0,5

Найбільш ефективним є використання комбінації добавок реологічної дії у вигляді Byk-3900P та Luvotix R400 (склад № 9 та № 12 згідно табл. 2), які призводять до суттєвого зниження поверхневого натягу покриття, 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 відображатися на якості полімерного покриття. Добавки, які знижують поверхневих натяг порошкової фарби, покращують не тільки розтікання, а й зовнішній вигляд отриманого покриття, при цьому перешкоджаючи утворенню дефектів.

Таким чином добавки на основі поліакрилату адсорбованого на діоксиді кремнію у вигляді Byk-3900P та поліоксіетилену похідного касторової олії у вигляді Luvotix R400, що використовуються як підсилювачі розтікання, 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.

Добавки дегазуючої дії також по різному впливають на формування властивостей (табл. 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 у вигляді Benzoin. Введення даної добавки у кількості 0,3 % за мас. сприяє збільшенню показника розтікання з 3,0 см до 3,5 см (табл. 3), зменшенню утворенню (пор, пустот) помітних візуальних дефектів та отриманню бездефектного гладкого порошкового покриття (рис. 6, 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 50 см/кг (контрольний склад) до 60 см/кг та міцності на згин (8 мм). Однак, введення Benzoin у кількості 0,6 % за мас. є неефективним, тому що викликає суттєве пожовтіння кольору покриття (рис. 6, 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, оптимальним вмістом Benzoin в складі порошкових фарб є 0,3 % за мас.

Застосування добавок на основі модифікованого поліетилену у вигляді Ceraflour 962, мікронізованого етилен-біс-стеарамід у вигляді Ceratan MA7019 та кисневмісного високомолекулярного кремнієвого з’єднання у вигляді Powderadd 9423 не забезпечують ефективної дії по суттєвому зменшенню утворення (пор, пустот) помітних візуальних дефектів та отриманню бездефектного гладкого порошкового покриття (рис. 7). При цьому спостерігається зниження ударної міцності до дії зворотного удару з 50 до 5…30 см/кг та міцності на згин до 10…12 мм (табл. 3).

а) б)

в)

Рис. 6. Візуальний вигляд порошкового покриття з використанням добавки у вигляді Benzoin: а – контрольний склад; б – Benzoin – 0.3 %; в – Benzoin – 0.6 %

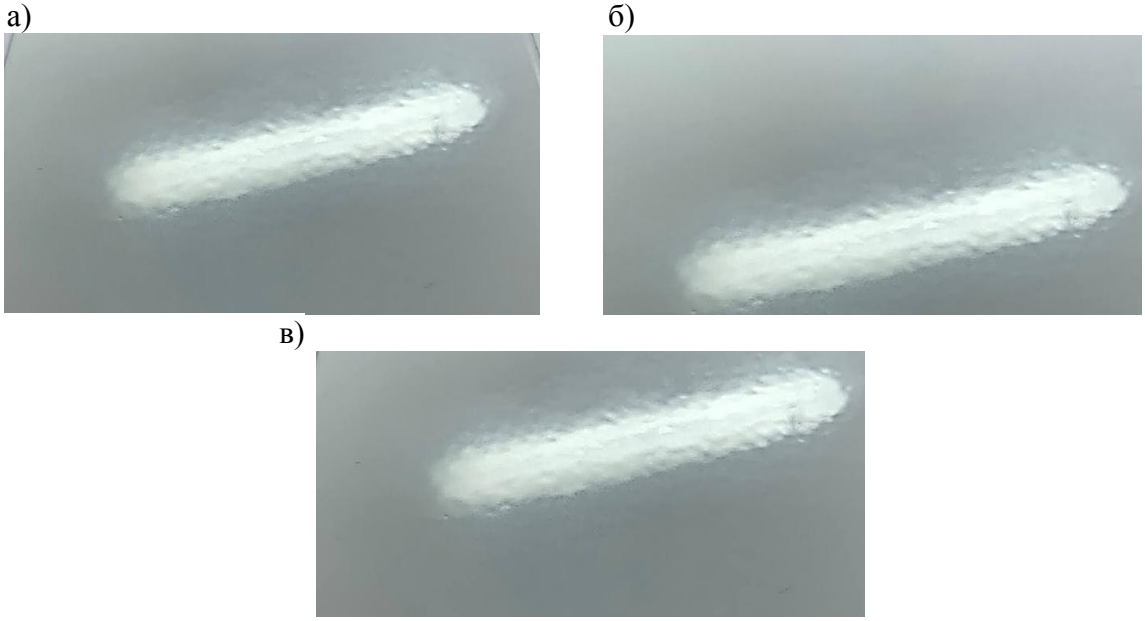

Рис 7. Візуальний вигляд порошкового покриття з використанням добавок у вигляді:
а – Ceraflour 962; б – Ceratan MA7019; в – Powderadd 9423

Слід також відмітити, що найбільш ефективним способом отримання бездефектного гладкого порошкового покриття є використання комбінації добавок дегазуючої дії у вигляді Benzoin в кількості 0.3 % та Ceretan MA 7019 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. Також дане поєднання добавок не призводить до пожовтіння отриманого покриття. При цьому спостерігається підвищення ударної міцності покриття до дії зворотного удару з 50 до 80 см/кг та міцності на згин до 8 мм.

Висновок. 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 у вигляді Byk-3900P та поліоксіетилену похідного касторової олії у вигляді Luvotix R400, 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. В той час, добавки реологічної дії на основі бентонітової глини у вигляді Luvogel 4B та гідрофільного діоксиду кремнію у вигляді Cab-o-sil M5 призводять до підвищення поверхневого натягу в плівці покриття, що в свою чергу погіршує розтікання, візуальний вигляд та механічні властивості порошкового покриття.

Найбільш ефективним способом отримання бездефектного порошкового покриття є використання комбінації добавок дегазуючої дії на основі модифікованого гідроксікетону у вигляді Benzoin в кількості 0.3 % та мікронізованого етилен-біс-стеарамід у вигляді Ceretan MA 7019 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. В той час, окреме введення зазначених добавки дегазуючої дії, а також добавок на основі модифікованого поліетилену у вигляді Ceraflour 962, та кисневмісного високомолекулярного кремнієвого з’єднання у вигляді Powderadd 9423 не забезпечують ефективної дії по суттєвому зменшенню утворення (пор, пустот) помітних візуальних дефектів та отриманню бездефектного порошкового покриття.

Література

1. Richart D.S. Powder Coating – Past, Present and Future: A Review of the State of the Art. Powder Coating, 2019. pp. 16-24.

2. Gots V.I., Lastivka O.V., Tomin O.O., Tymoshenko S.A. Fillers for modification of polyester powder coating. *Materials Science and Engineering. Innovative Technology in Architecture and Design* 6, 2020. pp. 1-7.

3. Spyrou V.E. Powder Coatings – Chemistry and Technology. European Coatings Tech Files 3rd, 2004. 384 p.

4. Liberto N. Powder Coating: The Complete Finisher's Handbook 4th Edition. Powder Coating Institute, 2012. 466 p.

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

6. Muller B., Poth U. Coatings Compendia – Coatings Formulation. Powder Coating Institute, 2006. 212 p.

7. Paul S., Willey J., Sons S. Surface Coatings: Science and Technology", *2nd Edition*, p. 219, 1985.

8. Richart D. Industry Paint & Powder. Powder R&D Section Fall, 1999. 189 p.

9. Gots V., Lastivka O., Tomin O., Kovalchuk O. Influence of Film-Forming Components on the Corrosion Resistance of Powder Coating. *Materials Science Forum*, 2019. Vol. 968. pp. 143-152.

10. Gots V.I., Lastivka O.V., Berdnyk O.Y., Tomin O.O., Shilyuk P.S. Corrosion resistance of polyester powder coatings using fillers of various chemical natur. *Key Engineering Materials*, 2020. Vol. 864. pp. 115-121.

11. Wagemakers' Lakfabrieken, NL Pat. 138009, 1973.

12. EN ISO 8130-11-2019. Coating powders – Part 11: Inclined-plane flow test. 2019. 12 p.

13. DSTU ISO 6272-2:2015. Paints and varnishes – Rapid-deformation (impact resistance) tests – Part 2: Falling-weight test, large-area indenter. 2015. 12 p.

14. STU ISO 1519:2015. Paints and varnishes – Bend test (cylindrical mandrel). 2015. 9 p.

References

[1] D.S. Richart, Powder Coating – Past, Present and Future: A Review of the State of the Art, *Powder Coating*, pp. 16-24, 1990.

[2] V.I. Gots, O.V. Lastivka, O.O. Tomin, S.A. Tymoshenko, "Fillers for modification of polyester powder coating", *Materials Science and Engineering, Innovative Technology in Architecture and Design*, 6, pp. 1-7, 2020.

[3] V.E. Spyrou, *Powder Coatings – Chemistry and Technology*, European Coatings Tech Files, 3rd, 2004.

[4] N. Liberto, *Powder Coating: The Complete Finisher's Handbook*, 4th Edition, Powder Coating Institute, 2012.

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

[6] B. Muller, U. Poth, *Coatings Compendia – Coatings Formulation*, Powder Coating Institute, 2006.

[7] S. Paul, J. Willey, S. Sons "Surface Coatings: Science and Technology", *2nd Edition*, p. 219, 1985.

[8] D. *Richart, Industr. Paint & Powder*, Powder R&D Section Fall, 1999.

[9] V. Gots, O. Lastivka, O. Tomin, O. Kovalchuk, "Influence of Film-Forming Components on the Corrosion Resistance of Powder Coating", *Materials Science Forum*, vol. 968, pp. 143-152, 2019.

[10] V.I. Gots, O.V. Lastivka, O.Y. Berdnyk, O.O. Tomin, P.S. Shilyuk, "Corrosion resistance of polyester powder coatings using fillers of various chemical nature", *Key Engineering Materials*, vol. 864, pp. 115-121, 2020.
[11] Wagemakers' Lakfabrieken, NL Pat. 138009, 1973.
[12] EN ISO 8130-11-2019. Coating powders – Part 11: Inclined-plane flow test, 2019.
[13] DSTU ISO 6272-2:2015. Paints and varnishes – Rapid-deformation (impact resistance) tests – Part 2: Falling-weight test, large-area indenter, 2015.
[14] DSTU ISO 1519:2015. Paints and varnishes – Bend test (cylindrical mandrel), 2015.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕЙСТВИЯ МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК В ПОРОШКОВЫХ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛАХ

[1]**Гоц В.И.,** д.т.н., профессор,
v.gots@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7103-1234
[1]**Ластивка О.В.**, к.т.н., доцент,
oles.lastivka@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7499-4744
[1]**Томин О.О.**, аспирант,
alexkp94@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2830-9419
[1]*Киевский национальный университет строительства и архитектуры*
пр. Воздухофлотский, 31, г. Киев, 03037, Украина

Аннотация. Быстрые темпы развития производства порошковых красок, по сравнению с жидкими лакокрасочными материалами, свидетельствуют об их важности, высокой эффективности и перспективности. Рост популярности порошковых красок объясняется их экологической полноценностью и привлекательностью с точки зрения охраны окружающей среды, а также высокой эффективностью, которая связана с возможностью получать при однослойном нанесении высококачественные защитно-декоративные покрытия. Вместе с тем, очевидно, что за относительно короткий период своего развития современные порошковые лакокрасочные материалы не исчерпали все возможности совершенствования рецептур и расширение ассортимента, а также модернизации технологии их производства.

Рецептурный состав термореактивной порошковой краски состоит из пяти основных компонентов: полимерная смола, отвердитель, пигменты, наполнители и функциональные добавки. В целом, полимерная смола и отвердитель играют основную роль в обеспечении необходимых механических характеристик и долговечности порошкового покрытия. При этом роль функциональных (модифицирующих) добавок чрезвычайно важна для получения характеристик, которые часто являются фундаментальным требованием для удовлетворения заранее определенных технических спецификаций продукта и потребностей конечных пользователей.

Добавки играют важную роль в формировании свойств порошковых красок и покрытий на их основе, поскольку они стали неотъемлемой их частью из нескольких основных причин: регулирование реологических свойств, поверхностных дефектов, а также свет и термо-стабилизации покрытий.

Изучено влияние модифицирующих добавок на свойства порошкового покрытия. Авторы использовали реологические и дегазирующие модифицирующие добавки с различной природой основного действующего вещества. Было обнаружено, что добавки на основе акрилатного полимера, адсорбированного на диоксиде кремния в форме Byk-3900P и на полиоксиэтиленовом производном касторового масла в виде Luvotix R400, снижают поверхностное натяжение в пленке покрытия, что, в свою очередь, снижает поверхностное натяжение пленки покрытия. в свою очередь, способствует увеличению смачиваемости основы при плавлении порошкового покрытия, уменьшению эффекта «апельсиновой корки» при сшивании, уменьшению пор на полученной поверхности и улучшению механических характеристик покрытия. В то же время реологические добавки на основе бентонита в виде

Luvogel 4B и гидрофильного диоксида кремния в виде Cab-o-sil M5 вызывают увеличение поверхностного натяжения в пленке покрытия, что в свою очередь, приводит к ухудшению текучести, внешнего вида и механических характеристик порошкового покрытия.

Ключевые слова: порошковая краска, покрытия, модифицирующие добавки, растекания, смачиваемость, дегазация, ударная прочность.

EFFICIENCY OF MODIFYING ADDITIVES IN POWDER COATING MATERIALS

[1]**Gots V.I.,** D.Sc., Professor,
v.gots@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7103-1234
[1]**Lastivka O.V.,** PhD., Assistant Professor,
oles.lastivka@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7499-4744
[1]**Tomin O.O.,** graduate student,
alexkp94@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2830-9419
[1]*Kyiv National University of Construction and Architecture*
Povitroflotskyi prospect 31, Kyiv 03037, Ukraine

Abstract. Rapid rates of development in production of powder coatings are, in comparison to liquid paint-and-lacquer materials, evidence of their importance, high effectiveness and prospectivity. The increase in popularity of powder coatings can be explained by their environmental adequacy and attractiveness from the perspective of the environmental protection as well as high effectiveness related to the possibility of obtaining high quality protective and decorative coatings during the one-layer application. At the same time, it is obvious that during modern powder coating-and-lacquer materials have not exhausted all possibilities of improving pharmaceutical compositions and expanding the assortment as well as modernizing their production technology the relatively short period of their development.

The composition of the thermosetting powder coating contains five key components: polymer resin, hardener, pigments, fillers and functional additives. In general, the polymer resin and hardener play a key role in ensuring necessary mechanical characteristics and lifespan of the powder coating. In this case, the role of functional (modifying) additives is extremely important to obtain characteristics that are often fundamentally required to meet predetermined technical specifications of the products and needs of end users.

Additives play an important role in forming properties of powder coatings and coatings based on them as they have become their integral part for several main reasons: because of control of rheological properties, surface defects as well as light and temperature stabilization of coatings.

The study deals influence of modifying additives on properties of the powder coating. The authors using rheological and degassing modifying additives with different nature of the main active substance. It was found that the additives based on the acrylate polymer adsorbed on the silicon dioxide in the form of Byk-3900P and on the polyoxyethylene derivative of the castor oil in the form of Luvotix R400 decreasing the surface tension in the coating film, which, in its turn, contributes to the increase in the wettability of base during the melting of the powder coating, decrease the ‘orange peel’ effect during the cross-linking, reduction in pinholes on the obtained surface and improvement of mechanical characteristics of the coating. At the same time, rheological additives based on the bentonite in the form of Luvogel 4B and on the hydrophilic silicon dioxide in the form of Cab-o-sil M5 cause the increase in the surface tension in the coating film, which, in its turn, leads to the worsening of flow, appearance and mechanical characteristics of the powder coating.

Keywords: powder coating, coatings, modifying additives, flow, wettability, degassing, impact resistance.

Стаття надійшла до редакції 4.05.2021