

УДК 621.793

Шабетя Сергій Анатолійович,
провідний науковий співробітник
Українського науково-дослідного інституту
спеціальної техніки та судових експертиз
Служби безпеки України, м. Київ, Україна
Павленко Віктор Степанович,
провідний науковий співробітник
Українського науково-дослідного інституту
спеціальної техніки та судових експертиз
Служби безпеки України, м. Київ, Україна
Несін Віталій Володимирович
старший науковий співробітник
Українського науково-дослідного інституту
спеціальної техніки та судових експертиз
Служби безпеки України, м. Київ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОБЛЕМ РОЗРОБКИ ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ РІВНОМІРНОГО ПОЛІЕФІРНОГО ПОКРИТТЯ ПОЛІАМІДУ БЛОЧНОГО БЕЗ СТРУМОПРОВІДНОГО ПРОШАРКУ

Стаття присвячена аналізу проблем формування рівномірного поліефірного покриття поліаміду блочного без струмопровідного прошарку. У статті розглядаються питання розробки технології нанесення покриття порошковою фарбою на деталі приладобудування зі штучного діелектричного полімерного матеріалу. Проаналізовано стан науки та технології у сфері нанесення полімерного порошкового покриття, сучасні матеріали, для яких вони використовуються, а також внесено пропозиції щодо вдосконалення процесу та його застосування за новою схемою для поліаміду блочного.

Ключові слова: порошкове поліефірне покриття, конструкції з поліаміду, активація частинок, адгезія, полімеризація, рівномірність покриття, застосування малої фракції порошкової фарби.

Статья посвящена анализу проблем формирования равномерного полиэфирного покрытия без токопроводящего слоя. В статье рассматриваются вопросы разработки технологии нанесения покрытия порошковой краской на детали приборостроения из искусственных диэлектрических полимерных материалов. Проанализировано состояние науки и технологии в области нанесения полимерного порошкового покрытия, современные материалы, для которых они используются, а также внесены отдельные предложения относительно усовершенствования процесса и его использования по новой схеме для полиамида блочного.

© Shabetia Serhii, Pavlenko Victor, Nesin Vitalii, 2020

DOI (Article): [https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.2\(61\).7](https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.2(61).7)

Issue 2(61) 2020

<http://suchasnaspetstechnika.com/>

Ключевые слова: *порошковое полиэфирное покрытие, конструкции из полиамида, активация частичек, адгезия, полимеризация, равномерность покрытия, использование малой фракции порошковой краски.*

Порошкове поліефірне покриття більше 50 років ефективно застосовується в приладобудуванні для захисту поверхонь корпусів виробів від впливу зовнішніх факторів.

Порошкова фарба фракцією 40–80 мкм з певним електричним зарядом, який надається трибостатичним методом або створюється електричним потенціалом інструмента, зі струменем повітря наноситься на поверхню виробу. Матеріал виробу у процесі нанесення перебуває під дією електричного потенціалу, зворотною до потенціалу фарби полярності. Часточки порошку, наближаючись безпосередньо до поверхні деталі, розряджаються. Розряд відбувається у вигляді локальної електричної дуги, яка розплавляє часточку, розігріває місце контакту та викликає прилипання поліефірної порошкової фарби до поверхні. Виріб з фарбою після нанесення підлягає термічній обробці. Як наслідок, утворюється рівномірний полімеризований захисний шар. Перша складова проблеми полягає в тому, що матеріал виробу для здійснення вказаного процесу має бути струмопровідним.

Різні електричні потенціали матеріалу основи та порошку фарби створюють додатковий вплив на напрямок руху потоку при розпиленні. Пролітаючи, частки відхиляються в напрямку градієнта максимальної різниці потенціалів. Таке відхилення помітне за певної рельєфності виробів. Зокрема, у випадках, коли наявні отвори, впадини, виступи, елементи оснащення, кутові елементи та інші нерівномірності поверхні. Ця друга складова проблеми проявляється нерівномірністю покриття чи повною відсутністю фарби на окремих ділянках.

Свіжа фарба характеризується рівномірністю фракції. При зберіганні, транспортуванні, пересипанні в інші ємності, заправці обладнання порошковою фарбою і, зокрема, у процесі руху в каналах інструменту при формуванні направленої потоку – частки руйнуються. Збільшується відсоток зменшеної фракції в суміші. Третя складова проблеми полягає в тому, що частки поліефірного порошку розміром менше за 40 мкм не набувають достатнього електричного потенціалу. Як наслідок, не утворюється розрядна дуга. Не розплавляється частка порошкової фарби. Не утворюється з'єднання з поверхнею. Частки малого розміру не утворюють покриття і втрачаються.

Четвертою складовою проблеми є витрати на утилізацію непридатної до здійснення процесу малої фракції порошкової фарби. Відсоток зменшеної фракції, яка не задіяна в процесі формування захисного поліефірного шару на поверхнях виробів приладобудування, збільшується із закінченням часу зберігання, при транспортуванні, пересипанні, заправці та використанні.

Отже, існує гостра проблема, яка постала на шляху застосування поліефірного порошкового покриття для виробів із непровідних матеріалів і, зокрема, з поліаміду блочного. До цього часу не вироблений підхід у подоланні одночасно всіх складових виявленої проблеми.

Дослідженням проблемних питань формування рівномірного поліефірного покриття займалися такі науковці як Мартиненко Д. [1], Ничипорук А. [2] та інші.

© Shabetia Serhii, Pavlenko Victor, Nesin Vitalii, 2020

Серед закордонних досліджень заслуговують на увагу праці Йелонек А. [3], Стойе Д., Фррейтаг В. [4], Яковлев А.Д. і Яковлев С.А. [5].

Серед розроблених методів нанесення поліефірного покриття на непровідні матеріали виділяється відпрацьований варіант технології, в якому застосовуються спеціальні струмопровідні лаки. Додаткова операція лакування дозволяє підтримувати достатній електричний потенціал поверхні деталей в процесі розпилення порошкової фарби.

Є згадки про можливість застосування поліефірного порошку за іншою схемою, яка не передбачає надання різниці електричних потенціалів виробу та фарби. Пропонується активізувати частки фарби та поверхні деталей в інший спосіб. Конкретні умови закріплення часток на поверхнях при напилюванні не розкриваються через різноплановість процесу для різних матеріалів, а також через комерційні інтереси розробників.

У той же час, незважаючи на значну кількість наукових публікацій, присвячених проблемам формування рівномірного порошкового поліефірного покриття, залишаються невирішеними питання надійного та дешевого застосування процесу до виробів з непровідних матеріалів, що зумовлює потребу подальших досліджень цієї тематики.

Отже, метою цієї статті є виявлення умов взаємної фіксації часток поліефірної порошкової фарби на поверхні з непровідних матеріалів на базі аналізу можливих способів їх активації. А також визначення конкретних ефективних шляхів формування рівномірного поліефірного порошкового захисного декоративного покриття виробів з поліаміду блочного без застосування струмопровідного прошарку, без втрат малої фракції порошкової фарби.

Формування поліефірного покриття на матеріалах зі струмопровідними властивостями розпиленням позитивно заряджених часток порошку супроводжується їх взаємним відштовхуванням на поверхні й нерівномірним осаджуванням на елементи поверхневого рельєфу. Електростатична сила значно впливає на траєкторію руху часток в струмені повітря (рис. 1).

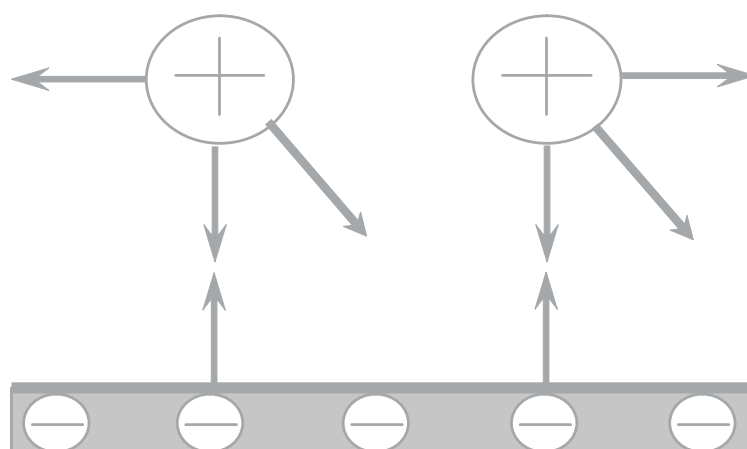


Рис. 1.

© Shabetia Serhii, Pavlenko Victor, Nesin Vitalii, 2020

DOI (Article): [https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.2\(61\).7](https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.2(61).7)

Issue 2(61) 2020

<http://suchasnaspetstehnika.com/>

Близько розташовані елементи негативно зарядженої поверхні, виступи оснастки, наприклад, підвісні гачки, отвори у деталях, ступінчасті переходи поверхонь притягують позитивно заряджені частки – створюють складне електростатичне поле, формуючи нерівномірне покриття (рис. 2.). Від'ємний заряд струмо-провідному матеріалу деталей надається елементами технологічної оснастки [6].

Нанесення покриття на поверхні деталей з матеріалу, що не має струмо-провідних властивостей, відбувається в класичній технології з використанням струмопровідного лакованого прошарку. Просторове електростатичне поле біля такої деталі формується аналогічним чином, як і біля деталі зі струмопровідного матеріалу [7].

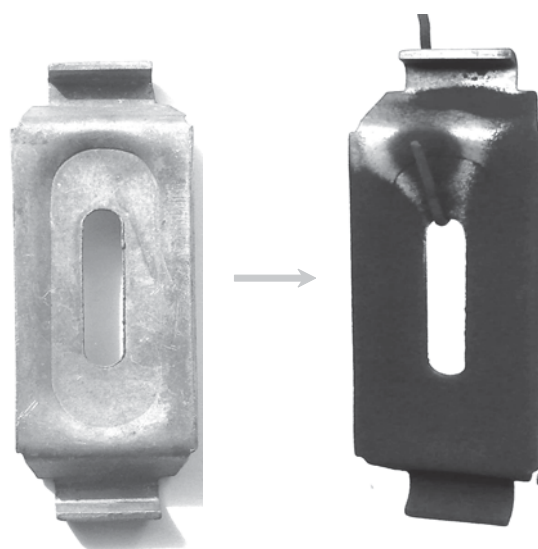


Рис. 2

Можливими способами активації часток і поверхонь, крім надання їм попереднього електричного потенціалу, визначені такі варіанти:

- 1) значна активація часток фарби, які направляються струменем повітря до неактивованої поверхні виробу;
- 2) значна активація матеріалу виробу, на який наносяться неактивовані частки фарби;
- 3) активація і часток і матеріалу деталей, на поверхні яких наноситься фарба.

Авторами встановлено критерії порівняння визначених можливих способів активації. Позитивні критерії (P) такі:

- 1) відносна інерційність (в часі) наданої активації;
- 2) можливість застосування часток фарби меншого розміру;

Негативні (N) критерії:

- 1) потреба в особливих, відмінних від нормальних, умовах середовища;
- 2) потреба в додатковому обладнанні для проведення активації;
- 3) потреба в додатковому обладнанні для забезпечення особливих умов;

© Shabetia Serhii, Pavlenko Victor, Nesin Vitalii, 2020

DOI (Article): [https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.2\(61\).7](https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.2(61).7)

Issue 2(61) 2020

<http://suchasnaspetstehnika.com/>

- 4) потреба в утилізації часток меншого розміру;
- 5) значне зменшення активованого стану середовищем.

Умовною порівняльною характеристикою способів активації визначено ознаку $K = \Sigma P - \Sigma N$. Критерії порівняння та умовні порівняльні ознаки для можливих способів активації 1–3 представлені в таблиці 1. Притаманність критеріїв способам зазначено в таблиці 1 числом “1”, непритаманність – числом “0”.

Таблиця 1

Критерії порівняння	Способи активації		
	1	2	3
Позитивні критерії			
Відносна інерційність (в часі) наданої активації	0	1	1
Можливість застосування часток фарби меншого розміру	0	1	1
Негативні критерії			
Потреба в особливих, відмінних від нормальних, умовах до середовища	1	0	0
Потреба в додатковому обладнанні для проведення активації	1	0	1
Потреба в додатковому обладнанні для за безпечення особливих умов	1	0	0
Потреба в утилізації часток меншого розміру	1	0	0
Значне зменшення активованого стану середовищем	1	1	1
Умовна порівняльна характеристика $K = \Sigma P - \Sigma N$	-4	1	0

Ідея авторів розробки нового варіанту застосування технології порошкового поліефірного покриття без надання попереднього електричного потенціалу часткам для фарбування поверхонь деталей приладобудування з непровідних матеріалів полягає в активації матеріалу підготовлених до покриття деталей проводиться шляхом попереднього нагрівання до температури достатньої для локального оплавлення часток фарби на момент їх контакту з поверхнею [8].

Дослідження проводилися в спеціальній камері (рис. 3.), оснащений штангою для закріплення деталей.

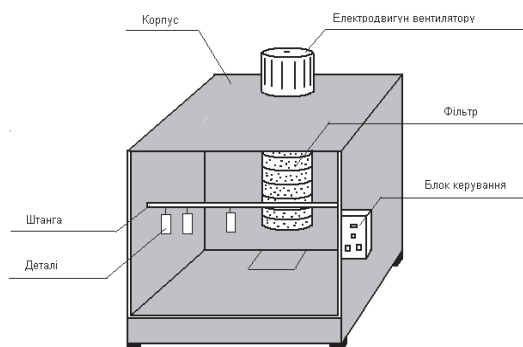


Рис. 3. Схема спеціальної камери для нанесення поліефірного порошку

© Shabetia Serhii, Pavlenko Victor, Nesin Vitalii, 2020

DOI (Article): [https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.2\(61\).7](https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.2(61).7)

Issue 2(61) 2020

<http://suchasnaspetstehnika.com/>

Для видалення рідини і газів з поверхневих шарів поліаміду до покриття проводиться термообробка матеріалу при температурі 70–90°C упродовж 2 годин. Нагрівання деталей перед нанесенням порошку проводиться до температури, що перевищує мінімальну температуру полімеризації фарби на 10–20° (рис. 4).

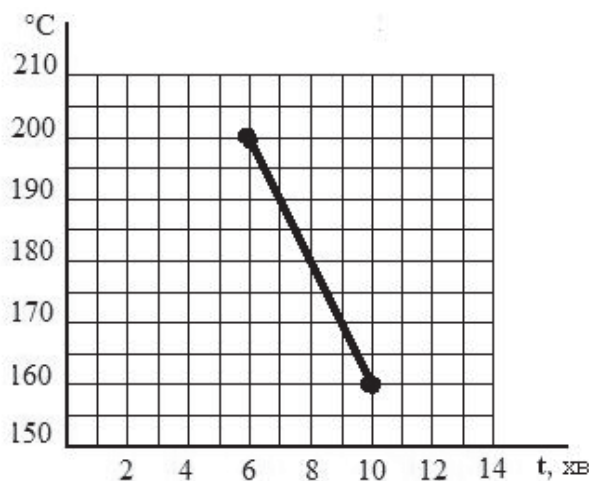


Рис. 4. Рекомендована залежність між часом полімеризації та температурою нагріву поліефірного покриття для фарби фірми "Tiger Drylak" (Австрія)

Застосовувалася порошкова фарба фірми "Tiger Drylak" (Австрія). Нанесення порошку на деталі з поліаміду блочного ПА 6 марки Б відбувалося за допомогою спеціального розпилювача (I етап на рис. 5.). Розігрівання деталей із нанесеними частками порошку здійснювалося в лабораторній печі до температури полімеризації (II етап на рис. 5.). Витримка деталей в печі, за температури 180°C, здійснена впродовж 10–20 хвилин [9]. Видалення покритих деталей з печі здійснене після повного формування шару поліефірної фарби та усунення витяжкою летючих продуктів полімеризації з камери (III етап на рис. 5.).

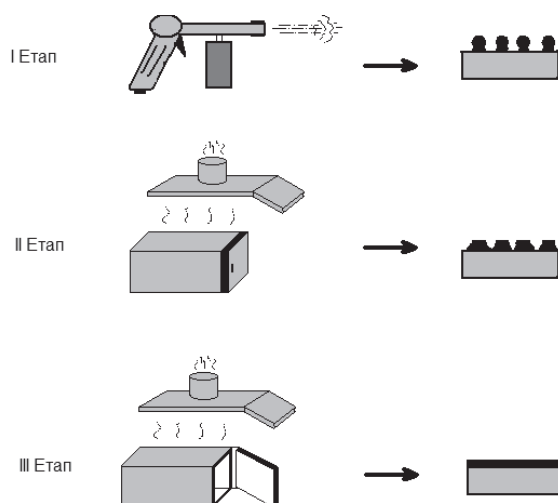


Рис. 5. Етапи нанесення порошкового покриття на нагріту поверхню деталей з поліаміду блочного

© Shabetia Serhii, Pavlenko Victor, Nesin Vitalii, 2020

DOI (Article): [https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.2\(61\).7](https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.2(61).7)

Issue 2(61) 2020

<http://suchasnaspetstehnika.com/>

Розподіл фарби по поверхні на I етапі залежить від доступності елементів деталей, можливості досягання їх струменем повітря з частками порошкового поліефірного покриття.

Нерівномірність розподілу фарби по поверхні виключена. Ні частки, ні матеріал виробу – не мають спеціально наведеного електричного потенціалу. Напрямок розповсюдження часток порошку задається лише напрямком струменя повітря, що видувається з інструмента (рис. 6). Рівномірність покриття забезпечує маніпуляціями оператор.

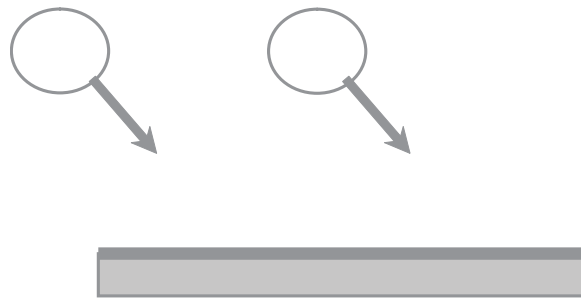


Рис. 6

Напрямок нанесення порошку, його щільність розташування, товщина утвореного шару залежать лише від маніпуляцій оператора установки й імпульсу, який отримують частки спрямовані потоком повітря при розпиленні (рис. 7.)

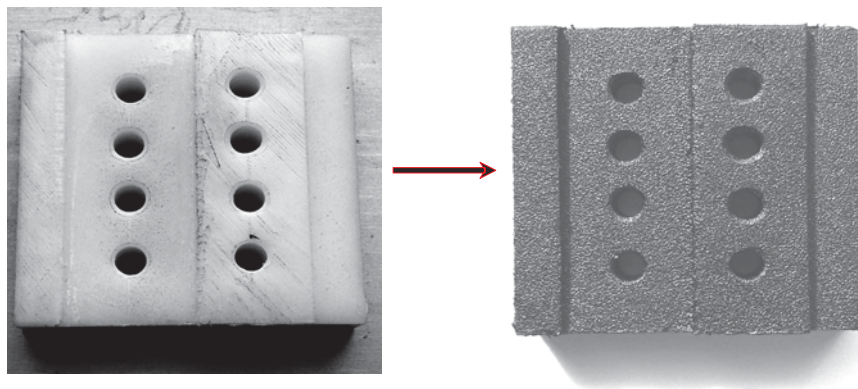


Рис. 7

Застосування поліефірного порошкового покриття поверхонь деталей з матеріалу, що не має струмопровідних властивостей, з активацією часток від енергії нагрітої поверхні, дозволяє застосовувати для утворення полімеризованого шару частки малого (від 0 до 40 мкм). Загальні відходи малодисперсної фракції поліефірного порошку у змінений технології покриття значно зменшуються.

З урахуванням викладеного вище, вважаємо перспективним розроблений варіант технології.

© Shabetia Serhii, Pavlenko Victor, Nesin Vitalii, 2020

DOI (Article): [https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.2\(61\).7](https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.2(61).7)

Issue 2(61) 2020

<http://suchasnaspetstehnika.com/>

Попередній перегрів матеріалу може бути застосованим для нанесення декоративного захисного поліефірного порошкового покриття на деталі з поліаміду блочного. Новизною розробленої технології є максимально повне вирішення всіх складових проблеми застосування поліефірного покриття до конкретного не-провідного матеріалу.

Досліджено чотири напрями проблеми формування рівномірного поліефірного покриття поліаміду блочного без струмопровідного прошарку, вперше винайдено шляхи їх одночасного подолання та розроблений новий конкретний механізм реалізації вказаного процесу.

Запропоновані рекомендації, які регламентують процедуру реалізації конкретного механізму формування рівномірного поліефірного покриття поліаміду блочного без струмопровідного прошарку, можуть слугувати підґрунтям для розробки технологій такого покриття для інших полімерних матеріалів, застосованих в приладобудуванні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Мартыненко Д.* Euroimpianti – технологии превосходства! Оборудование для порошковой покраски. Покраска профессиональная. 2007. № 4 (22). С. 46–48.
2. *Ничипорук А.* Семинар компании Лаковер “Азбука порошкового окрашивания от А до Я”. Покраска профессиональная. 2018. № 4 (91). С. 10–12.
3. *Йелонек А.* Чому потрібно купувати фарбувальне обладнання, а не робити його самому? Покраска профессиональная. 2018. № 4 (91). С. 20–22.
4. *Стойе Д., Фрейтаг В.* Краски, покрытия и растворители / пер. с англ. под ред Э.Ф. Ицко. СПб., Профессия. 2007. 528 с.
5. *Яковлев А.Д., Яковлев С.А.* Лакокрасочные покрытия функционального назначения. СПб., ХИМИЗДАТ, 2016. 272 с.
6. *Несін В.В., Шабетя С.А., Павленко В.С.* Зменшення відходів малодисперсної фракції поліефірного порошку в зміненій технології покриття виробів з непровідних матеріалів. Екологія. Людина. Суспільство: матеріали XX Міжнародної науково-практичної конференції. К.: НТУУ “КПІ ім. Ігоря Сікорського”. 2019. С. 66–67.
7. *Павленко В.С., Шабетя С.А., Несін В.В.* Особливості формування рівномірного поліефірного покриття на діелектричному матеріалі без застосування струмопровідного прошарку. Досконалість зварювання – комплексний підхід: тези доп. Міжнарод. наук.-техн. конф. К.: НТУУ “КПІ ім. Ігоря Сікорського”, 2019. С. 12.
8. *Шабетя С.А., Несін В.В., Павленко В.С.* Ефективне застосування зміненої технології порошкового поліефірного покриття поверхонь деталей з поліаміду блочного в приладобудуванні. Ефективність інженерних рішень в приладобудуванні: зб. праць наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених. К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. С. 152–155.
9. Особенности нанесения порошковых полимерных красок в условиях серийного и мелкосерийного производства. Покраска профессиональная. 2007. № 4 (22). С. 56–59.

REFERENCES

1. *Martynenko, D.* (2007) Euroimpianti – tekhnologii prevoskhodstva! Oborudovaniye dlya poroshkovoy pokraski. “Euroimpianti – Superiority Technologies! Equipment for Powder Painting”. Professional Painting 4 (22), 46–48 [in Russian].
2. *Nichiporuk, A.* (2018) Seminar kompanii Lakover “Azбуka poroshkovogo okrashivaniya ot “A do Ya”. “Seminar of the Lakover Company “ABC of Powder Painting from “A to Z”. Professional Painting 4 (91), 10–12 [in Russian].
3. *Yelonek, A.* (2018) Chomu potribno kupuvaty farbuvalne obladdnannya, a ne robyty yoho samomu? “Why do you need to buy painting equipment and not do it yourself?” Professional Painting 4 (91), 20–22 [in Ukrainian].

© Shabetia Serhii, Pavlenko Victor, Nesin Vitalii, 2020

DOI (Article): [https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.2\(61\).7](https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.2(61).7)

Issue 2(61) 2020

<http://suchasnaspetstehnika.com/>

4. *Stoyye, D., Frreytag, V.* (2007) Kraski, pokrytiya i rastvoriteli. "Paints, Coatings and Solvents" / transl. from English under the editorship of E.F. Itsko. SPb., Profession. 528 p. [in Russian].

5. *Yakovlev, A.D., Yakovlev, S.A.* (2016) Lakokrasochnyye pokrytiya funktsional'nogo naznacheniya. "Paints and Varnishes for Functional Purposes". SPb., KHIMIZDAT. 272 p. [in Russian].

6. *Nesin, V.V., Shabetia, S.A., Pavlenko, V.S.* (2019) Zmenschennya vidkhodiv malodispersnoyi fraktsiyi poliefirnoho poroshku v zmineniy tekhnolohiyi pokryttya vyrobiv z neprovodnykh materialiv. "Waste Reduction of Fine Fraction of Polyester Powder in the Changed Technology of Coating Products from Non-Conductive Materials. Ecology". Man. Society: Proceedings of the XX International Scientific and Practical Conference. K.: NTUU "KPI". P. 66–67 [in Ukrainian].

7. *Nesin, V.V., Shabetiya, S.A., Pavlenko, V.S.* (2019) Osoblyvosti formuvannia rivnomirnoho poliefirnoho pokryttia na dielektrychnomu materiali bez zastosuvannia strumoprovodnoho prosharku. Features of forming a uniform polyester coating on a dielectric material without the use of a conductive layer. Materials of Scientific and Technical Conference. K.: NTU. P. 12 [in Ukrainian].

8. *Shabetiya, S.A., Nesin, V.V., Pavlenko, V.S.* (2018) Efektyvne zastosuvannya zminenoyi tekhnolohiyi poroshkovoho poliefirnoho pokryttya poverkhon detaley z poliamidu blochno v prykladobuduvanni. "Effective Application of the Changed Technology of Powder Polyester Covering of Surfaces of Details from Polyamide Block in Instrument Making". The Effectiveness of Engineering Solutions in Instrumentation: coll. of studies of scientific-practical. conf. students, graduate students and young scientists. K.: PBF, KPI. P. 152–155 [in Ukrainian].

9. Osobennosti naneseniya poroshkovykh polimernykh krasok v usloviyakh seriynogo i melkoseriynogo proizvodstva. "Features of the Application of Pwder Polymer Paints in the Conditions of Serial and Small-Scale Production". Professional Painting. 2007. No 4 (22). P. 56–59 [in Russian].

UDC 621.793

Shabetia Serhii,

Leading Researcher of Ukrainian Scientific and
Research Institute of Special Equipment and
Forensic Expertise of the Security Service of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Pavlenko Victor,

Leading Researcher of Ukrainian Scientific and
Research Institute of Special Equipment and
Forensic Expertise of the Security Service of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Nesin Vitalii,

Senior Researcher of Ukrainian Scientific and
Research Institute of Special Equipment and
Forensic Expertise of the Security Service of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**STUDY OF THE PROBLEMS OF DEVELOPMENT OF A TECHNOLOGY
FOR FORMING A UNIFORM POLYESTER COATING ON BLOCK
POLYAMIDE WITHOUT A CONDUCTIVE LAYER**

Research article is devoted to the analysis of problems of formation of polyester coatings for one of the types of polyamide. The issues of the development of technologies for painting dielectric materials with powder paints on the equipment, that is widely used in industry, are revealed. Product quality requirements, competition and costs increase over time. There is the need to increase the efficiency, flexibility of painting systems and technologies. The solution improves production processes, and the efficient use of materials helps to reduce production costs. Paper presents the results of the

© Shabetia Serhii, Pavlenko Victor, Nesin Vitalii, 2020

DOI (Article): [https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.2\(61\).7](https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.2(61).7)

Issue 2(61) 2020

<http://suchasnaspetstehnika.com/>

analysis of the state of science and technology in the field of application of polymer powder coatings, materials and provides suggestions for improving the technological processes of painting.

Increasing of the demands on the environment, the exclusion or limitation of factors that pose a danger to living organisms, lead to a continuous search for safe and productive technologies. The authors of the paper touched upon the ecological component of the problems of dyeing and reduction of waste polymer recycling products. It is possible to predict that the new methods in the future will significantly limit the amount of material losses in the disposal process.

Keywords: polyester powder coating, polyamide constructions, particle activation, adhesion, polymerization, coating uniformity, application of small fraction of powder paint.

Отримано 06.04.2020