

УДК 621.793.79

Гайдамак О. Л., Савуляк В. І.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОКРИТТІВ, СТОРЕНИХ ХОЛОДНИМ ГАЗОДИНАМІЧНИМ НАПИЛЕННЯМ ПОРОШКУ ПА-4**

Створення функціональних покриттів на поверхнях деталей дозволяє суттєво впливати на експлуатаційні характеристики та надавати цим поверхням нових, не притаманних матеріалу деталі, якостей. Наприклад створення покриттів на основі алюмінію на сталевих деталях може захистити ці деталі від корозії та значно змінити фрикційні та електропровідні властивості покритих поверхонь.

На кафедрі технології підвищення зносостійкості Вінницького національного технічного університету розроблено і виготовлено дослідну установку для газодинамічного нанесення функціональних покриттів. В основі її принципу дії є відкриття зроблене у Новосибірському інституті теоретичної та прикладної механіки у 80-х роках попереднього століття, яке полягає в тому, що порошкові частинки розігнані до високих швидкостей, близьких або вищих швидкості звуку, при зіткненні з підкладкою вступають з нею в молекулярні зв'язки і здатні утворити міцне з'єднання з останньою та між частинками порошку [1, 2]. При цьому температура напиленої частинки є нижчою за температуру її плавлення. На рис. 1 показане фото установки термодинамічного нанесення функціональних покриттів. Основними елементами установки є нагрівач повітря 1 і напилувач порошку 2.



Рис. 1. Установка для газодинамічного нанесення функціональних покриттів:  
1 – нагрівач повітря; 2 – напилувач порошку

Нагрівач повітря 1 складається з ніхромового дроту, навитого у вигляді спіралі, через яку продувається стиснуте повітря, яке далі потрапляє у напилувач 2, де потік повітря прискорюється до швидкості звуку. В цей повітряний потік, за рахунок ефекта ежекції, подається напилувальний матеріал – порошок алюмінію. Розганяючись в нагрітому повітряному потоці, порошок досягає поверхні підкладки і утворює суцільне покриття.

Напилувач (рис. 2) [3] складається з корпусу 1, в якому розміщено голку 2 для регулювання повітряного потоку та створення ефекта ежекції. До корпусу 1 приєднано канал 3 подачі порошку, який всмоктується у сопло 4 за рахунок ефекта ежекції. Напилувач має канал подачі стиснутого повітря 5.

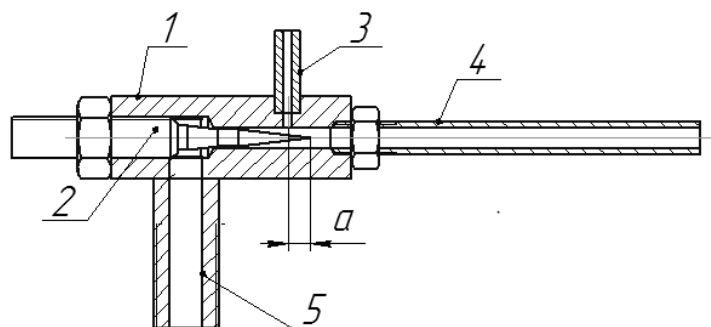


Рис. 2. Напилювач:

1 – корпус, 2 – голка, 3 – канал подачі порошку, 4 – сопло, 5 – канал подачі стиснутого повітря

Мета дослідження. Визначення коефіцієнту використання алюмінієвого порошку в залежності від режимів напилювання. Визначення міцності зчеплення плями покриття з підкладкою. Визначення пористості отриманих покриттів.

Для проведення дослідження використовували порошок алюмінієвий марки ПА-4 ГОСТ 6058-73 з розміром частинок порошку 60–100 мкм. Порція порошку складала 0,47 г. Дистанція напилення 15 мм. В якості підкладки використовувалася пластина зі сталі 3 товщиною 1 мм. Поверхня пластин під напилення попередньо не оброблялась.

Положення голки 2 визначається розміром (а), який встановлювали в трьох різних позиціях. Фіксували температуру початку і кінця напилювання. Тиск повітря становив 0,57 МПа. Зважували підкладку до та після напилювання. Всі данні заносили до табл. 1, де (а) – відстань, яка визначає положення голки 2 відносно каналу введення порошку 3,  $T_1$ , та  $T_2$  – температура початку та кінця напилювання,  $M_1$  та  $M_2$  – маса основи до та після напилювання,  $M_n$  – маса плями напилення,  $K$  – коефіцієнт використання порошку, який визначається як відношення маси фігури напилення до початкової маси порції порошку та помноженої на 100%.

Результати напилення показані на рис. 3.

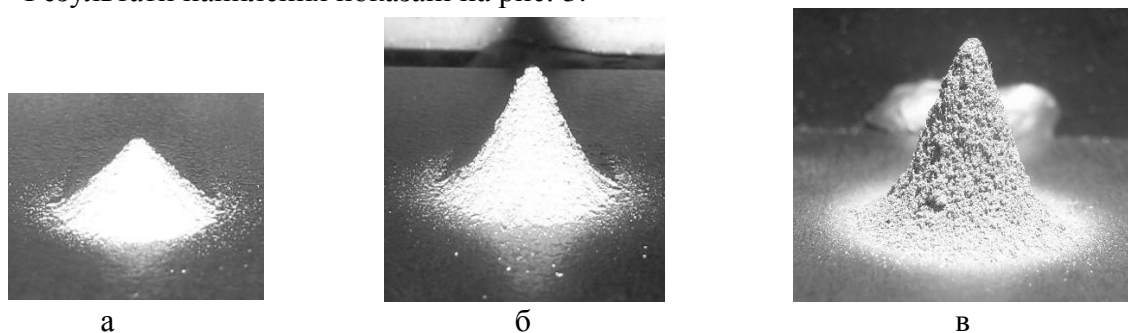


Рис. 3. Фігури напилення:

а – зразок № 1, б – зразок № 2, в – зразок № 3

Таблиця 1

Порівняння режимів напилення та коефіцієнту використання порошкового алюмінія ПА-4

№ зразка	а мм	$T_1$ °C	$T_2$ °C	$M_1$ г	$M_2$ г	$M_n$ г	$K$ %
1	2,25	320	330	10,41	10,45	0,04	8
2	1,85	320	360	10,55	10,67	0,12	25,5
3	1,5	320	460	10,79	10,99	0,2	42,5

Для визначення густини  $\rho_2$  отриманого покриття розробили 3D моделі за розмірами напилених фігур напилення.

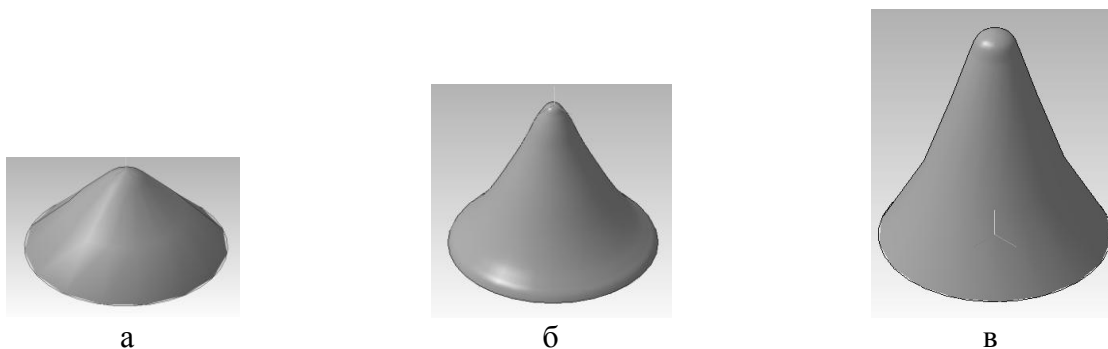


Рис. 4. 3D моделі фігур напилення:  
 а – зразок №1, б – зразок №2, в – зразок №3

Використовуючи функцію «масоцентрувальні характеристики» програми Компас, визначили масу плями покриття як суцільного матеріалу для алюмінію А0 ГОСТ 11069-2001, який має густину  $\rho_1 = 0,002700 \text{ г/мм}^3$ . Густину покриття  $\rho_2$  визначали як відношення маси зваженої плями покриття до її розрахованого об'єму.

Пористість  $J$  плями покриття визначали за формулою (1).

$$J = \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1} \times 100\% \quad (1)$$

Тобто визначали, який процент повітря міститься в об'ємі плями покриття.

Таблиця 2

Визначення пористості плями покриття

№ зразка	Маса плями розрахункова для алюмінію А0, г	Об'єм розрахунковий, мм <sup>3</sup>	Маса плями зважена, г	Густина плями $\rho_2$ , г/мм <sup>3</sup>	Пористість плями $J$ , %
1	0,097759	36,206894	0,04	0,0011	41
2	0,227543	84,275364	0,12	0,0014	52
3	0,439850	162,907247	0,2	0,00158	58

Для визначення міцності зчеплення плями покриття з основою розробили пристосування для випробовування на зсув (рис. 5)

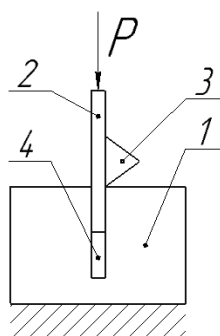


Рис. 5. Схема навантаження плями покриття:  
 1 – упор, 2 – підкладка, 3 – фігура напилення, 4 – щілина.

Підкладку 2 з фігурою напилення 3 встановлювали у щілину 4 упора 1 і гідравлічним пресом натискали на підкладку із зусиллям  $P$ .

Знаючи зусилля  $P$  зсуву плями напилення і площу  $S$  контакту фігури напилення з підкладкою знаходили межу міцності зсуву плями напилення  $\sigma_3$ . за формулою:

$$\sigma_{з.} = P/S \quad (2)$$

Враховуючи те, що поверхня зсуву має досить неправильну форму, для визначення площі  $S$  зсуву застосуємо програму Компас. Для цього сфотографували фігури напилення зверху, як показано на рис. 6. Вставили це фото у документ програми Компас - 2D в масштабі 1:1. Обвели контур плями напилення замкнутою кривою Біз'є, як показано на рис. 6 і за допомогою функції вимірювання площі програми Компас визначили площі фігур напилення 1, 2 та 3 контакту з підкладкою.

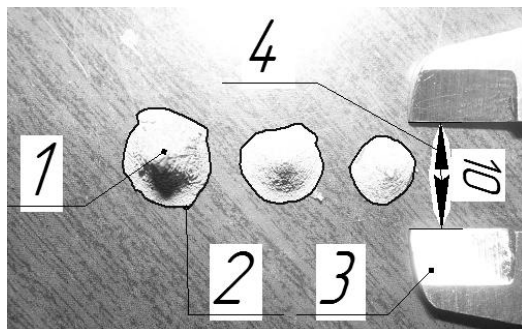


Рис. 6. Визначення площі контакту фігур напилення з підкладкою:

1 – плями покриття (зліва направо показані плями № 3, 2, 1), 2 – крива Біз'є, 3 – губки штангенциркуля, 4 – розмір між губками штангенциркуля для визначення коефіцієнту масштабування фотографії

Результати вимірювань площ, сили зсуву фігури напилення і межі міцності зсуву наведено у табл. 3.

Таблиця 3

Результати вимірювань площ і межі міцності зсуву фігури напилення з підкладки

№ плями	Площа контакту фігури напилення з підкладкою, мм <sup>2</sup>	Сила $P$ в момент зсуву фігури напилення, Н	Межа міцності зсуву, МПа
1	29,47	173,6	5,79
2	44,69	188,2	4,12
3	58,55	151,5	2,55

## ВИСНОВКИ

В результаті проведеного дослідження встановили, що із збільшенням температури напилення з 320 до 460 °С коефіцієнт використання порошку збільшився з 8 до 42,5 %, водночас межа міцності на зсув плями покриття з підкладкою зменшилась з 5,79 до 2,55 МПа, при цьому пористість отриманого покриття збільшилась з 41 до 58%.

Отримані покриття можуть бути використані для створення фільтрів тонкої очистки газів та рідин з розміром прохідних пор 60–100 мкм для створення поверхневих шарів партертя, здатних утримувати мастильні матеріали.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Пат. 2237746 Російська Федерація, МПК С 23 С 24/04. Способ газодинамического нанесения покрытий и устройство для его осуществления / Каширын А. И., Клюев О. Ф., Шкодин А. В.; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Однинский центр порошкового напыления». – № 2003100745/02; заявл. 14.11.03; опубл. 10.10.04, Бюл. №15 (II ч.).
2. Холодное газодинамическое напыление. Теория и практика / А. П. Алхимов, С. В. Клишков, В. Ф. Косарев, В. М. Фомин. Под ред. В. М. Фомина. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 536 с. – ISBN 978-5-9221-1210-9.
3. Пат. 110552 Україна, МПК С23С 24/00. Пристрій для газодинамічного нанесення покриттів з радіальною подачею порошкового матеріалу / Гайдамак О. Л.; заявник та патентовласник Гайдамак О. Л. – № а 201405543; заявл. 23.05.14; опубл. 12.01.16, Бюл. №1.