

УДК 621.793.79

О.Л. Гайдамак

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ АЛЮМІНІЮ, СТВОРЕНИХ ХОЛОДНИМ ГАЗОДИНАМІЧНИМ НАПИЛЕННЯМ

Вінницький національний технічний університет

В статті досліджено процес холодного газодинамічного напилення алюмінію на сталеву поверхню. Встановлено, що із збільшенням температури напилення коефіцієнт використання порошку збільшується, водночас межа міцності зсуву плями покриття з підкладкою зменшується, при цьому пористість отриманого покриття збільшується.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Створення функціональних покриттів на поверхнях деталей дозволяє суттєво впливати на експлуатаційні характеристики на 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 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-і роках попереднього століття, яке полягає в тому, що порошкові частинки розігнані до високих швидкостей, близьких до швидкості звуку, при зіткненні з підложкою 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 рисунку 1 показано фото установки термодинамічного нанесення функціональних покриттів. Основними елементами установки є нагрівач повітря 1 і розпилювач порошку 2.

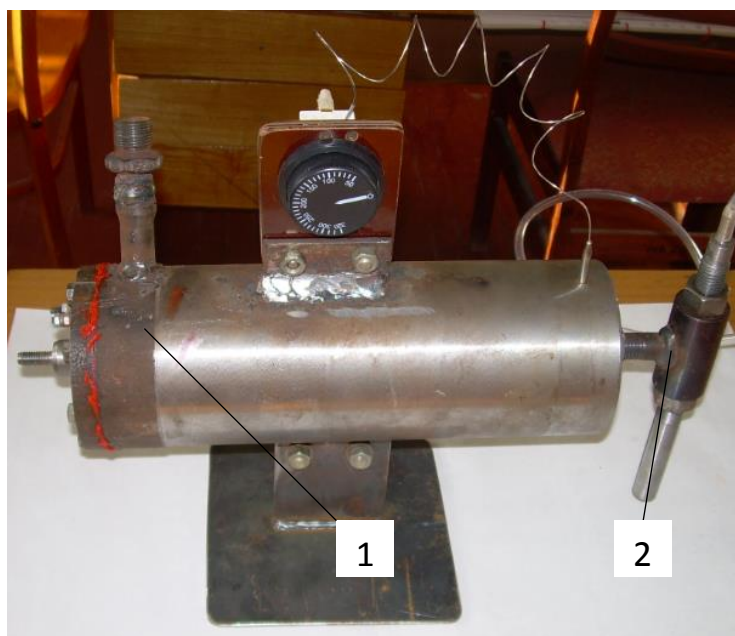


Рисунок 1– Установка для газодинамічного нанесення функціональних покриттів:

1 – нагрівач повітря; 2 – розпилювач порошку

Нагрівач повітря 2 складається з ніхромового дроту навитого у вигляді спіралі через яку продувається стиснуте повітря яке далі потрапляє у розпилювач 2 де потік повітря прискорюється до швидкості близько швидкості звуку. В цей повітряний потік подається розпилювальний матеріал – порошок алюмінію. Розганяючись в нагрітому повітряному потоці порошок досягає поверхні зразка і утворює суцільне покриття.

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

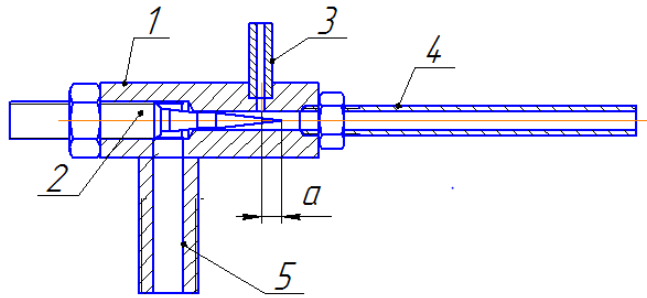


Рисунок 2 – Розпилювач: 1 – корпус; 2 – голка; 3 – канал подачі порошку; 4 – сопло; 5 – канал подачі стиснутого повітря

Мета дослідження. Визначення коефіцієнта використання алюмінієвого порошку в залежності від режимів напilenня. Визначення міцності зчеплення плями покриття з підложкою та визначення пористості отриманих покриттів.

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

Положення голки 2 визначається розміром a , який встановлювали в трьох різних позиціях. Фіксували температуру початку і кінця напilenня. Тиск повітря становив 0,57 МПа. Зважували підложку для напilenня, до та після напilenня. Всі данні заносили до таблиці 1. Де a – відстань яка визначає положення голки 2 відносно каналу введення порошку 3; T_1 та T_2 – температура початку та кінця напilenня; M_1 та M_2 – маса підложки до та після напilenня; $M_{\text{п}}$ – маса плями напilenня; K – коефіцієнт використання порошку, який визначається як відношення маси плями покриття до початкової маси порції порошку, помноженої на 100%.

Результати напilenня показані на рисунку 3.

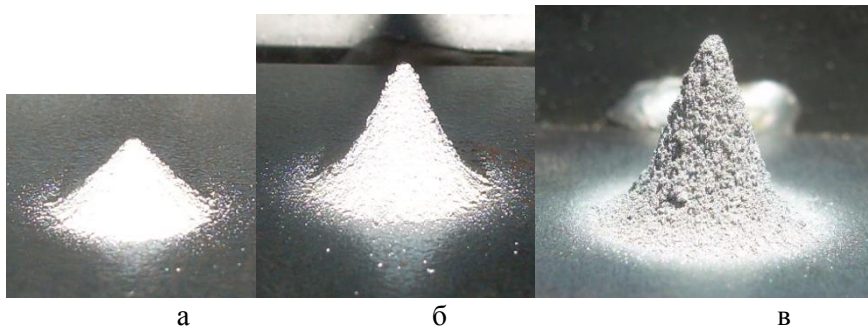


Рисунок 3 – Зразки після напilenня: а – зразок № 1; б – зразок № 2; в – зразок № 3

Таблиця 1 – Порівняння режимів напilenня та коефіцієнта використання порошкового алюмінію ПА-4

№ зразка	a мм	T_1 °C	T_2 °C	M_1 г	M_2 г	$M_{\text{п}}$ 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 ρ_2 отриманого покриття, розробили 3D моделі плям за розмірами напilenних плям покриття (рис. 4).

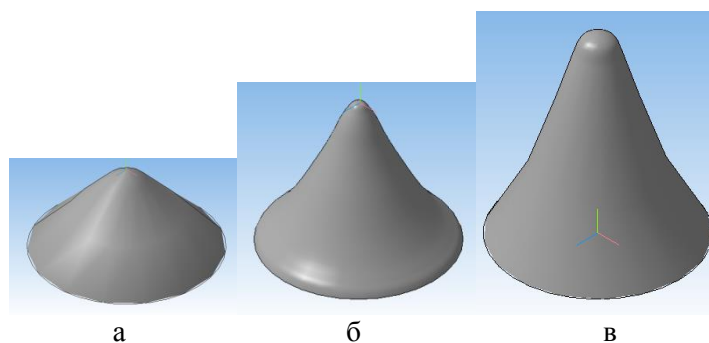


Рисунок 4– 3D моделі плям покриття а – зразок №1, б - зразок №2, в - зразок №3

Використовуючи функцію «масоцентрувальні характеристики» програми Компас, визначили масу плями покриття з суцільного матеріалу для алюмінію А0 ГОСТ 11069-2001, який має густину $\rho_1 = 0,002700 \text{ г/мм}^3$

Густину покриття ρ_2 визначали як відношення маси зваженої плями покриття до її розрахованого об'єму.

Пористість J плями покриття визначали за формулою:

$$J = ((\rho_1 - \rho_2) / \rho_1) * 100 \% \quad (1)$$

Тобто визначали, який процент повітря міститься в об'ємі плями покриття. Дані заносилися в таблицю 2.

Таблиця 2– Визначення пористості плями покриття

№ Зразка	Маса плями розрахована для алюмінію А0, г	Об'єм Розрахований, мм ³	Маса плями зважена, г	Густина плями ρ_2 , г/мм ³	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 (рисунок 5).

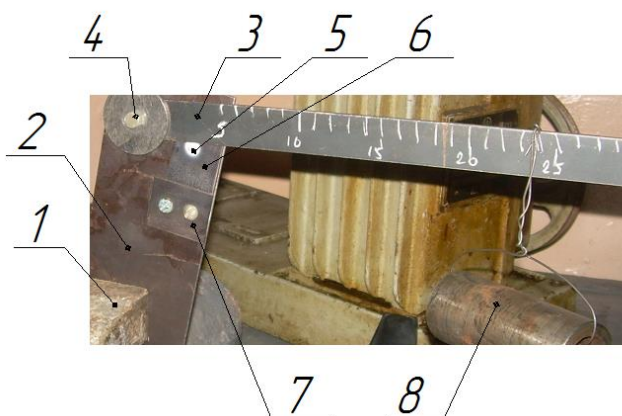


Рисунок 5 – Важільний механізм для випробовування міцності з'єднання плями покриття з підложкою на зріз: 1 – лещата; 2 – корпус; 3 – важіль; 4 – вісь обертання важеля; 5 – пляма покриття; 6 – підложка; 7 – упор; 8 – вантаж

Підложку 6 з плямою покриття 5 встановлювали на упор 7. Важіль впирали в основу плями покриття, як показано на рисунку 6.

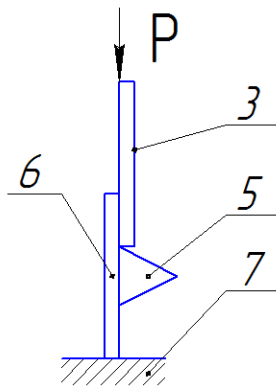


Рисунок 6 – Схема навантаження плями покриття: 3 – важіль; 5 – пляма покриття; 6 – підложка; 7 – упор

Згідно із застосованим важільним механізмом розробили розрахункову схему, показану на рисунку 7.

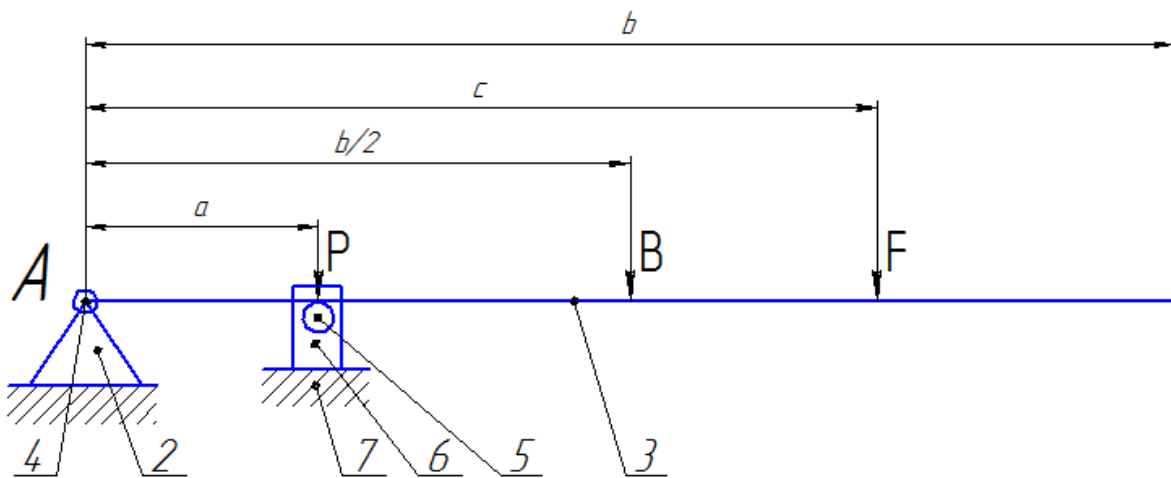


Рисунок 7 – Розрахункова схема важільного механізму: 2 – корпус; 3 – важіль; 4 – вісь обертання важеля; 5 – пляма покриття; 6 – підложка; 7 – упор; P – сила, що зсуває пляму покриття 5 з підложки 6; B – маса важеля; F – маса вантажу, що рухається вздовж важеля

З рівняння рівноваги моментів сил відносно точки А знайшли формулу (2) для визначення сили, яка зрізує пляму 5 покриття з підложки 6:

$$-P = ((B \cdot b/2) + (c \cdot F)) / a \quad (2)$$

Вихідні дані та результати розрахунку наведено у таблиці 3.

Таблиця 3 – Результати розрахунку сили P в момент зсуву плями покриття

№ плями	a , мм	b , мм	c , мм	B , Н	F , Н	P , Н
1	40	612	410	2,99	14,7	173,6
2	40	612	450	2,99	14,7	188,2
3	40	612	350	2,99	14,7	151,5

Знаючи зусилля зсуву плями наплення, знайдемо межу міцності зсуву плями наплення σ_3 за формулою

$$\sigma_3 = P/S \quad (3)$$

Для цього треба знайти площу контакту S плями напилення з підложкою. Враховуючи те, що поверхня зсуву має досить не правильну форму, для визначення площі зсуву застосуємо програму Компас. Для чого сфотографуємо плями напилення зверху, як показано на рисунку 8. Вставимо це фото у документ програми Компас-2D, змаштабуємо це фото так, щоб забезпечити розміри плями покриття в масштабі 1:1. Обведемо контур плями напилення замкнутою кривою Біз'є, як показано на рисунку 8, і за допомогою функції вимірювання площ програми Компас визначимо площі плям 1, 2 та 3 контакту з підложкою.

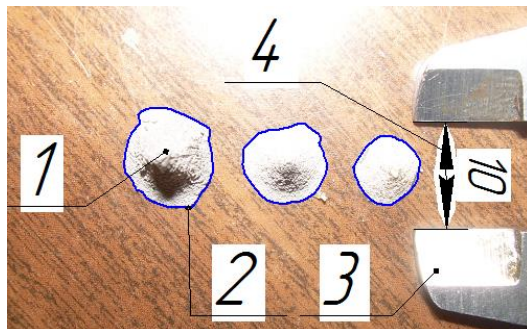


Рисунок 8 –Визначення площі контакту плям покриття з підложкою: 1 – плями покриття (з ліва на право показані плями № 3, 2, 1); 2 – крива Біз'є; 3 – губки штангенциркуля; 4 – розмір між губками штангенциркуля для визначення коефіцієнта масштабування фотографії

Результати вимірювань наведено у таблиці 4.

Таблиця 4 – Розміри виміряних площ і межі міцності зсуву

№ плями	Площа контакту плями мм ²	Межа міцності зсуву МПа
1	29,47	5,79
2	44,69	4,12
3	58,55	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 зсуву плями покриття з підложкою зменшилась з 5,79 до 2,55 МПа , при цьому пористість отриманого покриття збільшилась з 41 до 58%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Пат. 2237746 Российская Федерация, МПК С 23 С 24/04. Способ газодинамического нанесения покрытий и устройство для его осуществления / Каширын А. И., Ключев О. Ф., Шкодин А. В.; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Одинский центр порошкового напыления». — No 2003100745/02; заявл. 14.11.03; опубл. 10.10.04, Бюл. No15 (II ч.).
2. Алхимов А.П Холодное газодинамическое напыление. Теория и практика. / Алхимов А.П. Клинков С.В., Косарев В.Ф., Фомин В.М. Под ред. В.М. Фомина.// – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 536. ISBN 978-5-9221-1210-9

REFERENCES

1. Pat. 2237746 Russian Federation, the IPC C 23 C 24/04. The method of gas-dynamic coating and device for its implementation / Kashiryn AI Kluev O., Shkodin A.; applicant and patentee, Limited Liability Company "Center Odninsky powder coating." - No 2003100745/02; appl. 14.11.03; publ. 10.10.04, Bul. No15 (II hr.).
2. Alkhimov A.P. Cold gas dynamic spraying. Theory and practice. / Alkhimov A.P. Klinkov S.V. Kosarev V.F., Fomin VM // - M.: FIZMATLIT, 2010. - 536. ISBN 978-5-9221-1210-9 (Rus)

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ АЛЮМІНІЮ, СТВОРЕНИХ ХОЛОДНИМ ГАЗОДИНАМІЧНИМ НАПИЛЕННЯМ

Вінницький національний технічний університет

В статті досліджено процес холодного газодинамічного напилення алюмінію на сталеву поверхню.

Об'єкт дослідження – покриття з алюмінію на поверхні деталі.

Мета роботи - визначення впливу режимів напилення на коефіцієнт використання алюмінієвого порошку, визначення межі міцності зчеплення на зсув покриття з підкладкою, та визначення пористості отриманих покриттів. Метод дослідження – дослідно-розрахунковий.

Метою дослідження є визначення коефіцієнта використання алюмінієвого порошку в залежності від режимів напилення, визначення міцності зчеплення плями покриття з підкладкою, та визначення пористості отриманих покриттів.

Для проведення дослідження використовували порошок алюмінієвий марки ПА-4 з розміром частинок порошку 40 - 100 мкм. Порція порошку складала 0,47 г. Дистанція напилення 15 мм. В якості підкладки використовували пластина з сталі 3 товщиною 1 мм. Поверхня пластин під напилення попередньо не оброблялась.

Використовуючи функцію «масоцентрувальні характеристики» програми Компас визначили масу плями покриття з суцільного матеріалу для алюмінію А0 ГОСТ 11069-2001, який має густину $\rho_1 = 0,002700 \text{ г/мм}^3$

Густину покриття ρ_2 визначали як відношення маси зваженої плями покриття до її розрахованого об'єму. Пористість J плями покриття визначали за формулою

$$J = ((\rho_1 - \rho_2)/\rho_1) * 100\%.$$

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

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 зсуву плями покриття з підкладкою зменшилась з 5,9 до 2,6 МПа, при цьому пористість отриманого покриття збільшилась з 41 до 58%.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ХОЛОДНЕ ГАЗОДИНАМІЧНЕ НАПИЛЕННЯ, ПОКРИТТЯ НА ОСНОВІ АЛЮМІНІЮ, МЕЖА МІЦНОСТІ НА ЗСУВ, ПОРИСТІСТЬ, КОЕФІЦІЄНТ ВИКОРИСТАННЯ ПОРОШКУ.

Гайдамак Олег Леонідовіч, кандидат технічних наук, доцент, Вінницький національний технічний університет, доцент кафедри технології підвищення зносостійкості, e-mail: vntu111@gmail.com, тел. +380682104040, Україна, 21018, м. Вінниця, вул. Литвиненка 24, к. 12.

O. L. Gaidamak

STUDYING THE PROPERTIES OF COATINGS BASED ON ALUMINUM CREATED BY COLD GAS-DYNAMIC SPRAYING

Vinnitsia National Technical University

The paper researches the cold gas-dynamic spraying of aluminum powder on steel surface.

The object of study is a coating of aluminum powder on the surface of the parts. The purpose of the paper is to determine the effect of spraying modes on the utilization of aluminum powder, determination of the ultimate strength of shear adhesion coating of substrate, and determining the porosity of the coating. The method of research is research settlement.

The aim of the study is to determine the utilization rate of aluminum powder, depending on the modes of spraying, determination of the strength of adhesion spots coating with the substrate, and determining the porosity of the coating.

The aluminum powder brand PA-4 with particle size of 40 - 100 microns was used for the study. A portion of the powder was 0.47 g, the spraying distance is 15 mm. The steel plate with thickness of 1 mm is used as the substrate. The surface of the wafer during spraying previously not treated.

When using "centrobaric characteristics" Compass program identified a lot of spots covering of solid material for aluminum A0 GOST 11069-2001, which has a density $\rho_1 = 0,002700 \text{ g / mm}^3$

Coating density ρ_2 is defined as the ratio of the mass-weighted spots covering its designed capacity.

Porosity J stain coating was determined by the formula

$$J = ((\rho_1 - \rho_2) / \rho_1) * 100\%.$$

That determined the percentage of the volume of air contained in the spot coverage.

The study found that with increasing spraying temperature from 320 to 460 °C powder utilization rate increased from 8 to 42.5%, while the shear strength stain coating with the substrate decreased from 5.9 to 2.6 MPa, and the porosity the coating increased from 41 to 58%.

KEY WORDS: COLD GAS DYNAMIC SPRAYING, COATING BASED ON ALUMINUM, BOUNDARY SHEAR STRENGTH, POROSITY, COEFFICIENT USING THE POWDER.

Gaidamak Oleg L., Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Vinnytsia National Technical University, Assistant Professor of the Chair of Technology Increase Durability, e-mail: vntu111@gmail.com, tel. +380682104040, Ukraine, 21018, m., Vinnytsia, st. Lytvynenko, 24, r. 12.

О.Л. Гайдамак

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ, СОЗДАНЫХ ХОЛОДНЫМ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ НАПЫЛЕНИЕМ

Винницкий национальный технический университет

В статье исследован процесс холодного газодинамического напыления алюминиевого порошка на стальную поверхность.

Объект исследования - покрытие из алюминия на поверхности детали.

Цель работы - определение влияния режимов напыления на коэффициент использования алюминиевого порошка, определение предела прочности сцепления на сдвиг покрытия с подложкой, и определение пористости получаемых покрытий. Метод исследования - опытно расчетный.

Целью исследования является определение коэффициента использования алюминиевого порошка в зависимости от режимов напыления, определение прочности сцепления пятна покрытия с подложкой, и определение пористости получаемых покрытий.

Для проведения исследования использовали порошок алюминиевый марки ПА-4 с размером частиц порошка 40 - 100 мкм. Порция порошка составляла 0,47 г. Дистанция напыления 15 мм. В качестве подложки использовали пластину из стали 3 толщиной 1 мм. Поверхность пластин под напыление предварительно не обрабатывалась.

Используя функцию «масоцентрированные характеристики» программы Компас определили массу пятна покрытия из сплошного материала для алюминия А0 ГОСТ 11069-2001, который имеет плотность $\rho_1 = 0,002700 \text{ г / мм}^3$

Плотность покрытия ρ_2 определяли как отношение массы взвешенного пятна покрытия к ее рассчитанному объёму. Пористость J пятна покрытия определяли по формуле

$$J = ((\rho_1 - \rho_2) / \rho_1) * 100\%.$$

То есть определяли какой процент воздуха содержится в объеме пятна покрытия.

В результате проведенного исследования установили, что с увеличением температуры напыления с 320 до 460 °C коэффициент использования порошка увеличился с 8 до 42,5%, при этом предел прочности сдвига пятна покрытия с подложкой уменьшился с 5,9 до 2,6 МПа, при этом пористость полученного покрытия увеличилась с 41 до 58%.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ХОЛОДНОЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЕ НАПЫЛЕНИЯ, ПОКРЫТИЕ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ, ПРЕДЕЛ ПРОЧНОСТИ НА СДВИГ, ПОРИСТОСТЬ, КОЭФФИЦИЕНТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОРОШКА.

Гайдамак Олег Леонидович, кандидат технических наук, доцент, Винницкий национальный технический университет, доцент кафедры технологии повышения износостойкости, e-mail: vntu111@gmail.com, тел. +380682104040, Украина, 21018, г.. Винница, ул. Литвиненко 24, к. 12.