

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ РЕЖИМІВ ХОЛОДНОГО ГАЗОДИНАМІЧНОГО НАПИЛЕННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропоновано методику розрахунку режимів холодного газодинамічного напилення функціональних покриттів на основі алюмінію та міді. Методика дозволяє розрахувати оптимальну швидкість переміщення напилювальної установки відносно деталі, швидкість обертання деталі, в залежності від продуктивності процесу створення покриття та коефіцієнту використання порошку.

Ключові слова: холодне газодинамічне напилення, розрахунок швидкості переміщення, обертання, продуктивність.

Abstract

The method of calculating the modes of cold gas dynamic spraying of functional coatings based on aluminum copper you. The method allows to calculate the optimal spraying velocity of the details regarding the installation, the speed of the details, depending on the performance of the process of creation and utilization of coating powder.

Keywords: The cold gas-dynamic spraying, velocity calculation, rotation performance.

Вступ

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 або міді 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-х 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, 3]. При цьому температура напиленої частинки є нижчою за температуру її плавлення.

Метою роботи є розробка методики розрахунку режимів холодного газодинамічного напилення на базі результатів експериментальних досліджень формування фігури напилення та поверхні підкладки.

Результати дослідження

Важливим фактором який впливає на визначення режимів напилення покриття є закон розподілення порошкових частинок в перерізі повітряно порошкового потоку на виході із сопла напилювального пристрою і відповідно закон інтенсивності нарощування покриття в залежності від відстані від осі сопла напилювального пристрою.

Експериментальні дослідження показали що формування фігури напилення відбувається за нормальним розподілення Гаусса (рисунок 1). Якщо проаналізувати відносне відхилення функції Гаусса від експериментального профілю фігури напилення то можна сказати, що найбільші відхилення спостерігаються на периферії фігури напилення де товщина покриття не перевищує 0,1 мм, а найменше відхилення спостерігається в середній зоні на вісі фігури напилення де відбувається найбільш інтенсивне нарощування фігури напилення. Для оцінки загальної точності функції Гауса порівняємо площі проєкцій функції Гаусса і експериментального профілю. Середньо інтегральна відносна похибка функції Гаусса не перевищує 9,5 % ,

Визначимо коефіцієнт продуктивності потоку напилювальних частинок K_i для кожної елементарної комірки. Цей коефіцієнт буде визначати продуктивність створення покриття в залежності від місця розташування елементарної комірки тобто від радіусу R_i на якому розміщена елементарна комірка N_i .

$$K_i = Y/H \quad (1)$$

Де $Y = y_0 \cdot e^{-\left(\frac{R_i^2}{r_0^2}\right)}$ – функція Гаусса. H – висота фігури наплення у випадку рівномірного формування покриття по всій площі фігури наплення (без урахування розподілення Гаусса).

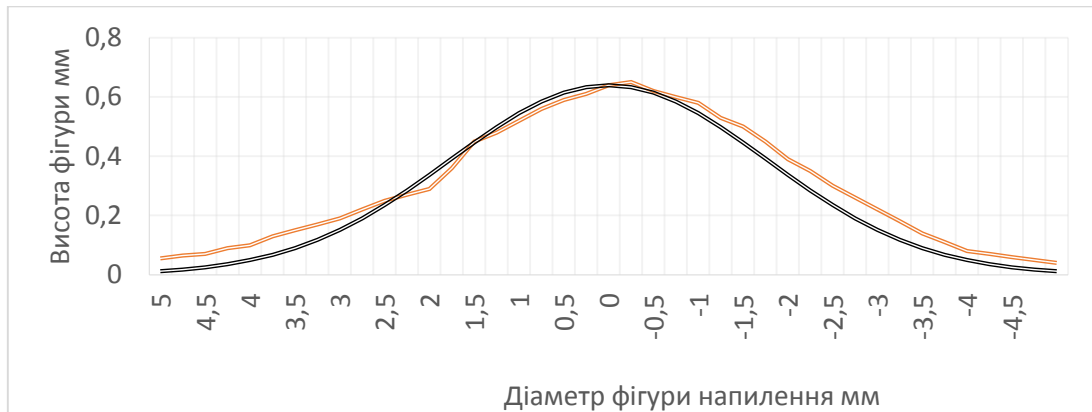


Рис. 1. Фігура наплення. Червона лінія – фігура наплення, чорна – її функція Гаусса

$$K_i = \frac{y_0}{H} \cdot e^{-\left(\frac{R_i^2}{r_0^2}\right)} \quad (3)$$

З'ясуємо як зміниться продуктивність з урахуванням розподілення Гаусса.

Продуктивність потоку напилувальних частинок в кожен елементарну комірку r_i становить

$$p_i = p \cdot K_i = P \cdot K_i / S = P \cdot \left(\frac{y_0}{H} \cdot e^{-\left(\frac{R_i^2}{r_0^2}\right)} \right) / S = P \cdot \left(\frac{y_0}{H} \cdot e^{-\left(\frac{R_i^2}{r_0^2}\right)} \right) / (\pi R^2) \quad (4)$$

Де $R = d/2$,

$p = P/S$ – усереднена продуктивність напилувального пристрою для кожної елементарної комірки (без урахування розподілення Гаусса)

P – продуктивність напилувального пристрою (характеристика напилувача, наприклад $P = 0,01$ г/сек)

d – діаметр основи фігури наплення.

З'ясуємо який профіль буде мати фігура наплення. Для цього визначимо висоту h_i кожної комірки виходячи з умов.

Маса елементарної комірки становить

$$m_i = s_i \cdot h_i \cdot \rho \quad (5)$$

ρ – густина матеріалу порошку, що напильється (для порошку A20-11, $\rho = 0,0053$ г/мм³).

Звідкі визначимо висоту кожної елементарної комірки.

$$h_i = m_i / (s_i \cdot \rho) \quad (6)$$

Використовуючи наведений алгоритм можна змодельовати, наприклад в MS Excel розрахункові фігури наплення для заданої продуктивності напилувального пристрою.

Поперечний переріз фігури наплення можна використати для визначення кроку наплення між суміжними проходами наплення для забезпечення найбільш рівномірного шару покриття, це дозволить заощадити дорогі порошкові матеріали, та зменшити витрати на подальшу механічну обробку.

Розглянемо які найбільш оптимальні відстані (кроки) повинні бути між суміжними проходами для чого проаналізуємо експериментальні фігури наплення з різними висотами і діаметрами цих фігур. (рисунки 2, 3, 4).

Найбільш рівномірним покриття буде якщо відстань між суміжними проходами буде забезпечувати рівність площ ділянок перекриття 1 та 2 як показано на рисунках 23, 24, 25. Ця відстань становить для зразків 1 - 3,2 мм, 2 - 3,9 мм, 3 - 3,5 мм, що відповідно становить для зразка 1 – 56%, 2 – 56%, 3 – 48%, тобто із збільшенням висоти фігури наплення до 0,4 мм оптимальним буде крок 55% від діаметра основи фігури наплення. Із збільшенням висоти до 0,54 мм оптимальний крок між

проходами зменшується і становить 48% від діаметра основи фігури напilenня. З урахуванням отриманих результатів розробимо методику розрахунку режимів напilenня.

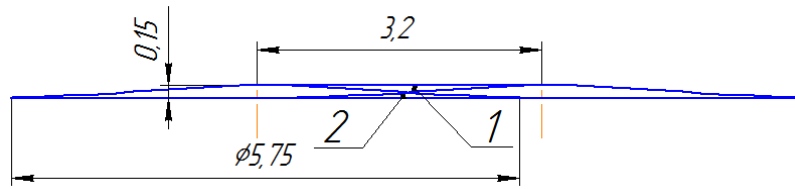


Рис. 2. Суміжні проходи для зразка №1

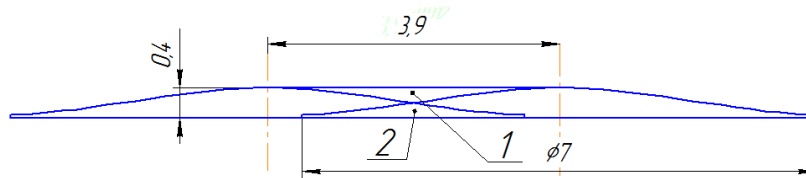


Рис. 3. Суміжні проходи для зразка №2

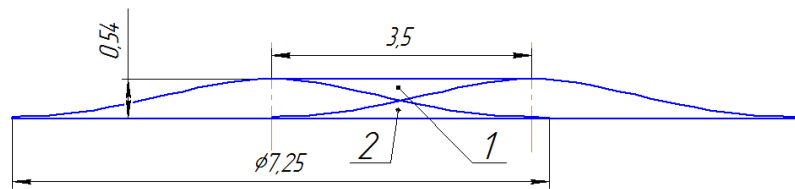


Рис. 4. Суміжні проходи для зразка №3

Методика розрахунку режимів напilenня пояснемо на конкретному прикладі.

Розрахунок проведемо для поверхні із наступними розмірами: $D = 39,6\text{мм}$ довжиною $L = 23\text{мм}$. Діаметр фігури напilenня береться в межах $d = 6 - 12\text{мм}$, приймаємо $d = 6\text{мм}$.

Напилити необхідно до розміру $D = 40,2\text{мм}$

Розробимо розрахункову схему, показану на рисунку 5.

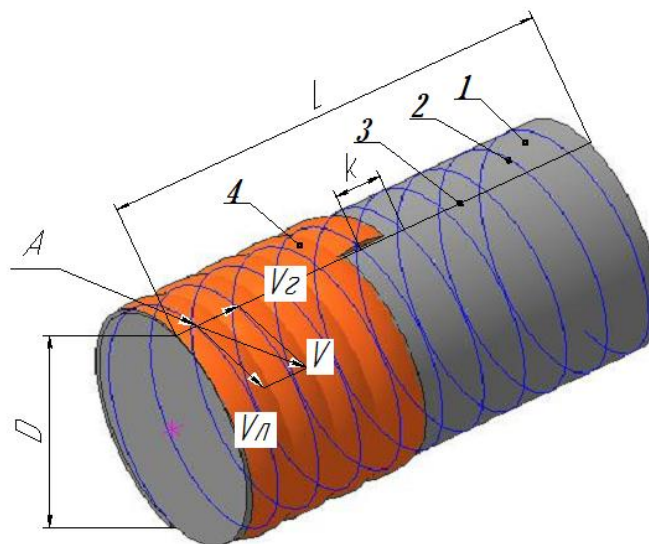


Рис. 5. Розрахункова схема: 1 – деталь що напilenняється; 2 – спіральна траєкторія руху фігури напilenня; 3 – прямолінійна траєкторія руху напilenнєвого пристрою; 4 – покриття. V_{ω} – швидкість обертання деталі в точці напilenня (A), V_{τ} – швидкість руху фігури напilenня (A) вздовж траєкторії руху розпилєвального пристрою. V – швидкість фігури напilenня вздовж спіральної траєкторії руху. L – довжина поверхні, що обробляється, k – крок спіральної лінії, D – діаметр деталі

Враховуючи що діаметр заготовки після попередньої механічної обробки становить $D = 39,5\text{мм}$ а діаметр заготовки після напilenня з урахуванням припуску на механічну обробку повинен становити $D = 40,2\text{мм}$ шар напilenня на сторону буде складати $A = (40,2 - 39,5) / 2 = 0,35\text{мм}$. Для забезпечення більшої рівномірності покриття цю величину доцільно поділити на 3 проходи кожен з яких буде дорівнювати $C = A / 3 = 0,116\text{мм}$

Площу поперечного перетину S фігури напилення визначимо за відомими формулами або намалюємо профіль фігури покриття наприклад в програмі Компас та поміряємо $S=0,464 \text{ мм}^2$
Довжину одного витка b визначимо за теоремою Піфагора

$$b = ((\pi \cdot D)^2 + k^2)^{0,5} = ((3,14 \cdot 40)^2 + 5,24^2)^{0,5} = 125,71 \text{ мм}$$

де b - довжина витка, D - діаметр витка, k - крок витка. Кількість витків $n=L/k = 27/5,24=5,15$ де n - кількість витків, L – довжина оброблюваної ділянки.

Загальна довжина спіралі

$$B = n \cdot b = (L/k)((\pi \cdot D)^2 + k^2)^{0,5} = 125,71 \cdot 5,15 = 848,54 \text{ мм}$$

Визначимо масу (M) одного шару напилення. Для цього площу поперечного перетину фігури S напилення перемножимо на загальну довжину спіралі (B) та на густину порошкового матеріалу ρ (для порошка А20-11 $\rho=0,0053 \text{ г/мм}^3$)

$$M = S \cdot B \cdot \rho = 0,464 \cdot 848,54 \cdot 0,0053 = 2,0867 \text{ г}$$

Для всього покриття $M_1 = M \cdot 3 = 2,0867 \cdot 3 = 6,26 \text{ г}$, а з урахування коефіцієнта використання порошку який для газодинамічного напилення становить $0,4$, для здійснення напилення знадобиться всього порошку $M_2 = M_1 / 0,4 = 6,26 / 0,4 = 15,65 \text{ г}$

Визначимо час напилення t одного шару покриття.

$$t = M/P = 2,0867/2 = 1,043 \text{ хв}$$

$P=2\text{г/хв}$ – продуктивність напилювального пристрою (характеристика пристрою).

Загальний час напилення

$$T = 3t = 3 \cdot 1,043 = 3,129 \text{ хв.}$$

Визначим горизонтальну швидкість руху напилювального пристрою V_r . Для цього, знаючи довжину шляху горизонтального переміщення L та час напилення одного шару t , визначимо горизонтальну швидкість руху напилювального пристрою

$$V_r = L/t = 23/1,043 = 22,052 \text{ мм/хв}$$

Визначимо швидкість руху фігури вздовж спіральної траєкторії V .

$$V = B/t = 848,54/1,043 = 813,56 \text{ мм/хв}$$

Визначимо швидкість обертання деталі V_d

$$V_d = (V^2 - V_r^2)^{0,5} = (813,56^2 - 22,052^2)^{0,5} = 813,26 \text{ мм/хв}$$

Визначимо кількість обертів деталі за хвилину

$$n = V_d / (\pi D) = 813,26 / 3,1415926 / 40 = 6,47 \text{ об/хв}$$

Висновки

Запропонована методика дозволяє розраховувати фігури напилення нерухомого напилювального устаткування на нерухому поверхню деталі, а також фігуру напилення яка створюється на рухомій деталі відносно нерухомого напилювального пристрою. Методика дозволяє визначати, в залежності від продуктивності напилювального пристрою, швидкість переміщення пристрою вздовж деталі, швидкість обертання деталі, необхідну кількість порошку для покриття заданої поверхні, час напилення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Пат. 2237746 Российская Федерация, МПК С 23 С 24/04. Способ газодинамического нанесения покрытий и устройство для его осуществления / Каширин А. И., Ключев О. Ф., Шкодин А. В; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Одинский центр порошкового напыления». — № 2003100745/02; заявл. 14.11.03; опубл. 10.10.04, Бюл. №15 (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

3. Пат. 110552 Україна, МПК С 23 С 24/00. Пристрій для газодинамічного нанесення покриття з радіальною подачею порошкового матеріалу / Гайдамак О.Л.; заявник та патентовласник Гайдамак О.Л. — № а201405543; заявл. 23.05.14; опубл. 12.01.2016, Бюл. № 1.

Гайдамак Олег Леонідович к.т.н., доцент. Вінницький національний технічний університет. Вінниця. vntu111@gmail.com.

Gaidamak Oleg Leonidovich Ph.D., associate professor. Vinnitsa National Technical University. Vinnitsa. vntu111@gmail.com.