

УДК 621.791.052

## **ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ ІНТЕГРОВАНОГО ГАЗОПОЛУМЕНЕВОГО НАПИЛЮВАННЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ПОКРИТТІВ**

**Є. С. ДЕРЯБКІНА**, к.т.н. доцент,  
**В. А. БАНТКОВСЬКИЙ**, доцент  
*Державний біотехнологічний університет, м. Харків*  
*E-mail: derjabkina@btu.kharkov.ua*

До сучасних прогресивних технологічних процесів відноситься процес газотермічного напилювання, який полягає у нанесенні покриттів на поверхні деталей різної конфігурації з використанням високотемпературного швидкісного струменя із вмістом частинок порошку або краплин розплавленого матеріалу, що осаджується на поверхні під час ударного зіткнення. Напилюванням можна наносити покриття з різних металів і сплавів як на металічну, так і на неметалічну (кераміку, скло тощо) основу. До основних видів газотермічного напилювання, залежно від джерела теплової енергії для розплавлення металу, відносяться газополуменеве і газоелектричне (електродугове і плазмове) [1].

При відновленні деталей (компенсації зношеного шару) газополуменеве напилювання має ряд суттєвих переваг відносно інших видів нарощування поверхонь: формування покриттів із широким спектром заданих властивостей, у тому числі - створення зміцненого поверхневого шару, який має високу стійкість проти зношування завдяки вибору матеріалу і технологічних режимів напилювання; незначне нагрівання деталі (до 200 С), що дозволяє зберегти структуру і властивості основного матеріалу, уникнути додаткових трудомістких технологічних операцій термообробки; нанесення покриттів із товщиною в широкому інтервалі – від сотих часток міліметрів до кількох міліметрів при високій продуктивності процесу; напилювання для захисту поверхонь від корозії і надання їм привабливого декоративного вигляду. Газополуменевому напилюванню взагалі притаманні – висока продуктивність (до 8-10 кг/год) та коефіцієнт використання матеріалу (більше 95%), локальність обробки (впливу на деталь), можливість нанесення покриттів на вироби

великих розмірів, відсутність обмежень на поєднання матеріалів покриття та підшару, що дозволяє охопити значну номенклатуру деталей, що підлягають відновленню [2].

У сьогоденні, у зв'язку зі стрімким розвитком технологій та їх проникненням у всі сфери людської діяльності, все більш актуальним становиться використання інформаційних та комп'ютерних систем для автоматизації різноманітних процесів та спрощення вирішення тих чи інших задач. Особливо слід виділити використання цих систем у науковій і науково-освітній діяльності, спрямоване на їх впровадження для розв'язання різноманітних інженерних задач [3, с.15]. Досліджено особливості використання пакету системи Maple для визначення оптимальних режимів інтегрованого газополуменевого напилювання зносостійких відновлювальних покриттів на деталях засобів транспорту.

Сучасний етап розвитку газополуменевого напилювання характеризується вдосконаленням технології отримання покриттів шляхом комбінування напилювання з іншими технологічними методами для забезпечення можливості керування властивостями покриттів при їх нанесенні та подальшій обробці і експлуатації. Одним з варіантів такого комбінування є застосування механічної обробки щітковим інструментом. Правильний вибір сукупності технологічних параметрів відіграє важливу роль отримання якісних покриттів. Сучасні експериментально-статистичні методи планування та аналізу експерименту ефективні щодо складних багатofакторних процесів і потребують значних матеріальних витрат і тривалих термінів.

Метою планування експерименту при розробці інтегрованого процесу газополуменевого нанесення зносостійких покриттів на деталі засобів транспорту при відновленні є визначення оптимальних параметрів механічної обробки щітковим інструментом для підвищення міцності зчеплення покриття з основою як одного з основних факторів, що визначають його якість. Такими параметрами обрані:  $x_1$  - діаметр голок (мм),  $x_2$  - вільна довжина голок (мм),  $x_3$  - швидкість обертання щітки (об / хв.),  $x_4$  - щільність розташування голок (шт / см<sup>2</sup>). Так як необхідно знайти оптимальні значення факторів, то область оптимуму повинна описуватись як мінімум рівнянням другого порядку:

$$\bar{y} = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{j,i=1}^n b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} x_i^2 \quad (1)$$

Для даного центрального композиційного ортогонального планування другого порядку за чотирма факторами в системі Maple була створена програма, що дозволяє вирішити задачу визначення максимальної міцності зчеплення від параметрів щіткової обробки та їх оптимальні значення. Використання цієї програми дозволило побудувати багатofакторну регресійну модель другого порядку, оцінити значимість коефіцієнтів регресії за критерієм Стюдента при рівні значимості 0,05 і числі ступенів свободи  $N_{0-1}=3$ . За допомогою програми дана модель наведена до звичайної форми запису:

$$\begin{aligned} \bar{y} = & -0,49206 + 21,06752x_1 + 0,32232x_2 + 0,00638x_3 + 0,43316x_4 - 0,05625x_1x_2 + \\ & + 0,00123x_1x_3 + 0,00833x_1x_4 - 0,00002x_2x_3 + 0,000003x_3x_4 - 13,84025x_1^2 - \\ & - 0,00299x_2^2 - 0,000002x_3^2 - 0,00696x_4^2 \end{aligned} \quad (2)$$

Ця модель перевірена на адекватність за допомогою критерію Фішера за рівня значущості  $\alpha=0,05$ . Програмний розрахунок показав, що нелінійна модель адекватна, так як  $F_p < F_T$  ( $0,97 < 8,79$ ). Звідси випливає, що її можна застосувати для знаходження оптимальних точок, у яких досягається максимум міцності зчеплення. Складена програма у системі Maple дозволила визначити ці точки, і навіть знайти значення  $\bar{y}$ .

Таким чином визначені оптимальні значення діаметра голок  $x_1=0,78$  мм, з вільною довжиною голки  $x_2=39,6$  мм при оптимальній кількості обертів  $x_3=2097$  об/хв і щільністю розташування голок  $x_4=32$  шт/см<sup>2</sup>. За цих оптимальних значеннях максимальна міцність зчеплення склала 27,86 МПа (при традиційному газополуменевому напилюванні - 20,4 МПа) [4]. На рис. 1 (а-е) наведено залежність міцності зчеплення газополуменевого покриття з основою при двох оптимальних значеннях параметрів щіткової обробки.

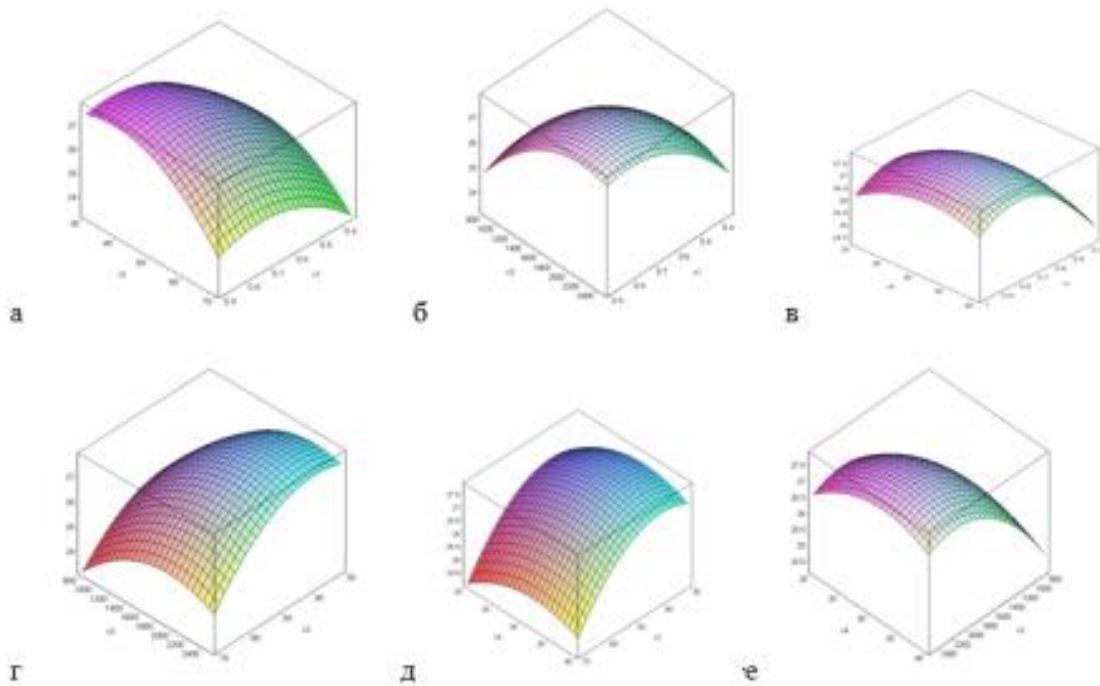


Рис. 1. Залежність міцності зчеплення газополуменевого покриття від параметрів механічної обробки: а - при  $x_3=2097$  об/хв та  $x_4=32$  шт/см<sup>2</sup>; б - при  $x_2=39,6$  мм і  $x_4=32$  шт/см<sup>2</sup>; в - при  $x_3=2097$  об/хв. і  $x_2=39,6$ мм; г -  $x_1=0,78$  мм і  $x_4=32$  шт /см<sup>2</sup>; д -  $x_1=0,78$  мм та  $x_3=2097$  об/хв.; е -  $x_1=0,78$  мм та  $x_2=39,6$ мм.

З рис. 1 наочно видно, що є точка максимуму міцності зчеплення газополуменевого покриття, що залежить від параметрів  $x_1, x_2, x_3, x_4$ .

### Список використаних джерел

1. Ремонт машин та обладнання: Підручник. / О.І. Сідашенко, О.А. Науменко, Т.С. Скобло, О.В. Тіхонов та ін.; За ред. проф. О.І. Сідашенка, О.А. Науменка. – 2-е вид. перероб. доп. – Харків: «Міськдрук», 2014. – 742с.
2. Практикум з ремонту машин. Загальний технологічний процес ремонту та технології відновлення і зміцнення деталей машин. Том 1 / Сідашенко О.І., Тіхонов О.В., Скобло Т.С. та інші. \ За ред. О.І. Сідашенка, О.В. Тіхонова. Навчальний посібник. – Харків: ТОВ «Пром-Арт», 2018 – 416с.
3. Васильєва Л.В., Гетьман І.А. Використання комп'ютерних технологій для розв'язання оптимізаційних задач в економіці: навч. посібник / Краматорськ : ДДМА, 2011. – 200 с.
4. Лузан С.А., Дерябкина Е.С. Определение оптимальных значений параметров иглофрезы и скорости её вращения при совмещении способа газопламенного напыления с иглофрезерованием/Науковий вісник будівництва/ХДТУБА, 2009.- С.249-253.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ МЕХАНІКИ ТА АВТОМАТИКИ АПВ НААН  
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**



***ЗБІРНИК  
ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ***

***XII Міжнародної науково-технічної конференції з нагоди  
118-ї річниці від дня народження  
доктора технічних наук, професора,  
віцепрезидента УАСГН  
КРАМАРОВА  
Володимира Савовича  
(1906-1987)***

**«КРАМАРОВСЬКІ ЧИТАННЯ»**

***20-21 лютого 2025 року  
м. Київ***

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE  
NATIONAL UNIVERSITY OF LIFE AND ENVIRONMENTAL  
SCIENCES OF UKRAINE  
INSTITUTE OF MECHANICS AND AUTOMATICS OF  
AGROINDUSTRIAL PRODUCTION OF THE NATIONAL  
ACADEMY OF AGRARIAN SCIENCES OF UKRAINE STATE  
BIOTECHNOLOGICAL UNIVERSITY



## ***PROCEEDINGS***

*XII International Scientific and Technical Conference dedicated  
to the 118th anniversary of the birth of  
Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Vice President of the UAAS  
KRAMAROV  
Volodymyr Savovych  
(1906-1987)*

**«KRAMAROV'S READINGS»**

*February 20-21, 2025  
Kyiv*

УДК 631.17+62-52-631.3

Збірник тез доповідей XII Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» з нагоди 118-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, віцепрезидента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) 20-21 лют. 2025 р., м. Київ / МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2025. 662 с.

Proceedings of the XII International Scientific and Technical Conference dedicated to the 118th anniversary of the birth of Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice President of the UAAS Kramarov Volodymyr Savovych (1906–1987), February 20–21, 2025, Kyiv / MES of Ukraine, National University of Life And Environmental Sciences of Ukraine. Kyiv: Publishing center of NULES of Ukraine, 2025. 662 p.

В збірнику представлені тези доповідей науково-педагогічних працівників, наукових співробітників, аспірантів та студентів НУБіП України, провідних вітчизняних і закордонних вищих навчальних закладів та наукових установ, в яких розглядаються завершені етапи розробок.

The Proceedings presents abstracts of reports of scientific and pedagogical workers, research staff, graduate students and students of the NULES of Ukraine, leading domestic and foreign higher educational institutions and scientific institutions, in which completed stages of development are considered.