

УДК 621.792.4

Л. Лопата, к.т.н., доц.; В. Калініченко к.т.н.; І. Качинська
Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України, Україна

КОГЕЗІЙНА І АДГЕЗІЙНА МІЦНІСТЬ ЯК ПАРАМЕТРИ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ЕЛЕКТРОКОНТАКТНОЇ ОБРОБКИ НАПИЛЕНИХ ПОКРИТТІВ

Анотація. Ґрунтуючись на умові когезійно-адгезійної рівномірності запропоновані підходи до оптимізації процесу електроконтактної обробки напилених покриттів, що дозволило визначити параметри процесу, які забезпечують підвищення адгезійної міцності покриттів до 140...180 МПа при товщині покриття від 0,5 мм до 3 мм.

Ключові слова: електроконтактна обробка, напилені покриття, механічні властивості, адгезійна міцність, когезійна міцність.

L. Lopata, Ph.D., Assoc. Prof.; V. Kalinichenko, Ph.D.; I. Kachinskaya

COHESION AND ADHESIVE STRENGTH AS OPTIMIZATION PARAMETERS OF THE ELECTRO-CONTACT PROCESSING OF SPRAYED COATINGS

Abstract. Priming on the basis of cohesive-adhesive uniformity of the proposed approach to optimizing the process of electrocontact processing of sawed coatings, which made it possible to determine the parameters of the process to ensure The adhesive value of coatings is up to 140...180 MPa with a thickness of coating ranging from 0.5 mm to 3 mm.

Keywords: electrical contact treatment, sprayed coatings, mechanical properties, adhesive strength, cohesive strength.

Адгезійна та когезійна міцність - основні характеристики складових частин композиції "основа-покриття". Ці характеристики взаємопов'язані, але на підставі інформації про одну з них неможливо зробити висновки про рівномірність композиції "основа-покриття" в цілому.

Підхід до розробки та проектування покриттів заснований на уявленні про домінуючу роль механічних властивостей в оцінці якості при конструюванні виробів (деталей) та їх експлуатації [1]. Така концепція виходить із положення про взаємозв'язок складу, структури, механічних властивостей матеріалу покриття та технології його створення. Для конкретних умов експлуатації існує оптимальне співвідношення механічних характеристик елементів композиції "основа-покриття".

Серед методів нанесення покриттів найбільше застосування знайшли методи газотермічного напилення [2]. Методи газополуменового та електродугового напилення більш прості в реалізації, характеризуються технологічною гнучкістю застосування до різних типорозмірів деталей. Разом з тим, при реалізації цих методів покриття мають недостатню міцність зчеплення 30...40 МПа, що суттєво знижує їх функціональні властивості (зносостійкість, корозійну стійкість, інші) та обмежує сферу застосування [3]. Однак, механічні властивості поверхонь деталей з покриттями визначають їх міцність, несучу здатність, довговічність та працездатність.

Недоліки газотермічних покриттів можна усунути їх модифікацією та способами обробки: термічною, хіміко-термічною, лазерною, ультразвуковою, механо-термічною та іншими видами [4]. Поєднання нанесення покриттів з обробкою - перспективні методи інженерії поверхні [2]. Використанням цих методів запобігає виникненню

пошкоджень різного роду, в тому числі й тріщин втоми на поверхні деталей машин, що експлуатуються в складних умовах термосилового навантаження.

Застосування способів обробки покриттів з мінімальним тепловкладенням – завдання першорядної важливості. Їх реалізація передбачає автономне або спільне використання механічних, температурних та хімічних факторів. У зв'язку з цим, значний інтерес становить електроконтактна обробка [5]. Її переваги: мінімальні тепловкладення та термічні дії на поверхню деталі з покриттям; режими обробки забезпечують високу міцність зчеплення, сприяють утворенню залишкових напружень стиску, які підвищують опір втоми.

Основними факторами, що визначають адгезійну та когезійну міцність напиленого покриття, що зміцнюється електроконтактною обробкою є:

- тиск на напилений порошковий шар;
- значення струму та тривалість імпульсів струму [5, 6].

З метою комплексної оцінки впливу параметрів процесу електроконтактної обробки на адгезійну σ_{\max} та когезійну τ_{\max} міцність напилених покриттів проводилися експерименти з використанням методів математичного планування. Залежність адгезійну σ_{\max} та когезійну τ_{\max} покриттів від технологічних параметрів процесу електроконтактної обробки (тиску - x_1 , величини струму x_2 , тривалості імпульсів струму - x_3) представлено рівняннями регресії (1) та (2) відповідно [6]:

$$y_{\tau_{\max}} = 0,0625 \cdot x_2 + 0,0625 \cdot x_1 x_2 - 0,0375 \cdot x_1 x_3 - 0,0375 \cdot x_2 x_3 + 0,125 \cdot x_1 x_2 x_3 \quad (1)$$

$$y_{\sigma_{\max}} = 203 + 0,6 \cdot x_1 + 0,5 \cdot x_2 + 2,5 \cdot x_3 + 50 \cdot x_1 x_2 + 25 \cdot x_1 x_3 - 2,5 \cdot x_2 x_3 + 50 \cdot x_1 x_2 x_3 \quad (2)$$

Аналізуючи рівняння (1) та (2) слід зазначити, що найбільший вплив на адгезійну та когезійну міцність надає взаємодія всіх трьох досліджуваних факторів: тиску, струму та тривалості електроконтактної обробки. При цьому раціональним буде таке співвідношення адгезійної та когезійної міцності, яке задовольняє критерію адгезійно-когезійної рівномірності покриття [7]. Фізичний зміст цього критерію полягає в тому, що покриття має відшаровуватися в момент його когезійного руйнування. З урахуванням залишкового напруження, що виникає в покритті, в процесі його обробки критерій адгезійно-когезійної рівномірності запишеться у вигляді [7]:

$$\tau_{3ч} = (\sigma_{3ч} + \sigma_{3ал}) h k l \quad (3)$$

де $\tau_{3ч}$ – адгезійна міцність покриття (міцність адгезійного зв'язку);

$\sigma_{3ч}$ – когезійна міцність покриття; $\sigma_{3ал}$ – залишкові напруження в покритті;

h – товщина покриття; l – базовий розмір (принятий $l = 10h$);

k – коефіцієнт, який залежить від співвідношення пружних і геометричних параметрів системи "основа-покриття" [7]

$$k^2 = 2 \frac{G_o G_n}{G_o h_n + G_n H_o} \left(\frac{1}{E_n h_n} + \frac{1}{E_o H_o} \right),$$

(4)

де H_o , h_n - напівтовщина основи та покриття; E_o , E_n – модулі пружності основи та покриття; G_o , G_n – модулі зсуву основи та покриття.

Залежність адгезійної міцності покриття від товщини представлена на рисунку [7].

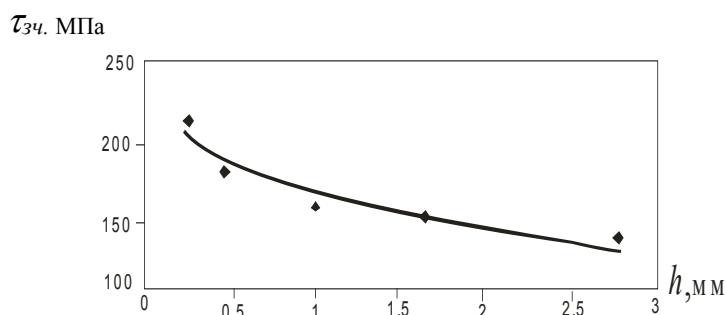


Рис. Залежність міцності адгезійного зв'язку від товщини напиленого покриття з порошкового дроту після електроконтактної обробки

Як очевидно з рисунка, адгезійна міцність, отримана розрахунково-експериментальним шляхом, зі зростанням товщини покриття зменшується. Саме це обмежує можливість застосування покриттів великої товщини. Вибором технологічних параметрів процесу електроконтактної обробки вдалося підвищити адгезійну міцність покриттів, отриманих напиленням, порівняно з адгезійною міцністю покриттів до їх обробки електроконтактним методом, та виконати умову когезійно-адгезійної рівномірності. Ефективне використання технології нанесення покриттів ґрунтується на можливості створення покриттів із заданими властивостями, що забезпечує оптимальне співвідношення механічних характеристик у композиції "основа-покриття."

Перелік посилань

1. Покрyтия и их использование в технике. Прочность материалов и конструкций, под ред. В.Т. Трошенко. Київ, Академперіодика. 2006. С. 981-1074.
2. Ющенко К.А., Борисов Ю.С., Кузнецов В.Д., Корж В.Н. Інженерія поверхні. Київ, Наукова думка. 2007. 559 с.
3. Пащенко В.М., Кузнецов В.Д., Солодкий С.П. Проблеми ефективності захисних покриттів у інженерії поверхні машин і обладнання. Вестник Национального технического университета Украины «КПИ». 2006. №49. С. 178-187.
4. О.В. Лопата, І.В. Смирнов Значимість методів обробки деталей машин з газотермічними покриттями в забезпеченні їх функціональних властивостей, Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем. Improving the reliability and efficiency of machines, processes and systems: матеріали V – її Міжнародної науково-практичної конференції (19-21 квітня 2023, ЦНТУ, Кропивницький). Кропивницький, ЦНТУ. 2023. С. 145 – 147. https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u349/programa_konf_pnmo-2023_1.pdf.
5. Smirnov, A. Lopata, T. Smirnova, L. Lopata Improvement of functional properties of gas-thermal coatings by electrocontact treatment Problems of Tribology. 2020. Vol. 25. No.1/95. 41-48I. ISSN: 2079-1372. DOI: <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2020-95-1-41-48>.
6. И.В. Смирнов, А.В. Лопата Влияние технологических параметров электроконтактной обработки на формирование напыленного порошкового слоя. Modern questions production and repair in industry and in transport: materials of the 20th International Scientific and Technical Seminar (March 23–29 2020, Tbilisi, Georgia). Kyev: 2020. С. 177-180 <https://atmu.net.ua/downloads/archive/sb1-20-1.pdf>
7. Л. А. Лопата. Адгезионная прочность и остаточные напряжения при электроконтактном припекании порошковых покрытий Проблеми міцності. №4. 2010. С. 71-77. ISSN 0556-171X.