

© О.О. Богданов¹, В.А. Козечко¹

¹ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ПРОЦЕСІВ ФОРМУВАННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ПРИ ЕЛЕКТРОІСКРОВОМУ ЛЕГУВАННІ

© O. Bohdanov¹, V. Kozechko¹

¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

RESEARCH OF THE REGULARITIES OF THE PROCESSES OF FORMATION OF THE SURFACE LAYER IN ELECTRIC SPARK ALLOYING

Мета. Визначення раціональних параметрів процесу електроіскрового легування деталі із сталі 40Х різними видами електродів. Вимірювання товщини нанесеного шару з використанням координатно-вимірювальної машини Mora Primus 564 на підприємстві замовника. Дати рекомендації щодо використання режимів обробки електроіскрового легування у виробничому процесі при відновленні деталей.

Методи досліджень базуються на ефективних способах обробки металевих поверхонь та технології отримання змінених шарів шляхом електроіскрової обробки. Вимірювання ґрунтувалися на теоретичній метрології при моделюванні інструментальних похибок засобів вимірювань, теоретичних засадах технології приладобудування та машинобудування. Під час проведення вимірювань використовувалась координатно-вимірювальна машина Mora Primus 564.

Результати досліджень. Електроіскрове легування одна з найпоширеніших технологій роботи з металом, яка відрізняється високою точністю та продуктивністю. Крім того, забезпечується висока міцність зчеплення шару, що наноситься, з матеріалом основи, а сам процес простий у здійсненні технологічних операцій і має низьку енергоємність. Проведено аналіз основних факторів, що впливають на якість поверхневого шару при обробці. Експериментально досліджено процес електроіскрового легування зразка із сталі 40Х. Під час проведення експериментів використовувалося сучасне контрольно-вимірювальне устаткування та методи вимірювань.

Наукова новизна. Вперше визначено раціональні режими електроіскрового легування ванадієм, титаном та вольфрамом деталі зі сталі 40Х. Встановлено залежність товщини нанесеного шару від режимів обробки різним матеріалом електрода. Дано рекомендації щодо режимів легування у виробничому процесі для сталі 40Х.

Практичне значення. Проведені у виробничих умовах експериментальні дослідження з електроіскрового легування зразка із сталі 40Х дозволили виявити основні закономірності формування поверхневого шару та сформулювати рекомендації щодо отримання покриття певної товщини. Це дозволить відновити зношену поверхню деталі чи зміцнити нову.

Ключові слова: електроіскрове легування, товщина поверхневого шару, координатно-вимірювальна машина, матеріал електрода, режими легування.

Вступ. Метод електроіскрового легування є економічно вигідним та технологічно перспективним у вирішенні проблем збільшення експлуатаційних характеристик деталей машин, що зазнають інтенсивного зношування. Завдяки ши-

рокій гамі матеріалів, які можуть бути використані під час електроіскрового легування, можна змінювати механічні, термічні, електричні та інші властивості робочих поверхонь деталей. Даний спосіб дозволяє отримувати покриття на металевих поверхнях різними струмопровідними матеріалами. Технологія електроіскрового легування може відновлювати працездатність зношених деталей та проводити зміцнення робочих поверхонь нових деталей, що дозволяє продовжити термін служби вузлів та агрегатів машин [1, 2].

Спосіб електроіскрової обробки металів, розроблений Б.Р. Лазаренко та Н.І. Лазаренко [3], заснований на явищі електричної ерозії матеріалів при іскровому розряді у газовому середовищі (переважно на повітрі), полярного перенесення продуктів ерозії на катод (деталь), на поверхні якого формується шар зміненої структури та складу. Внаслідок електричного пробоя міжелектродного проміжку виникає іскровий розряд, у якому потік електронів призводить до локального розігріву електрода (анода). На поверхні катода під дією значних теплових навантажень відбуваються мікрометалургійні та супутні їм процеси (термомеханічні, гідродинамічні, дифузійні), що здійснюють перемішування матеріалу катода та анода, при взаємодії з компонентами газового середовища, що сприяє утворенню високої адгезії між основою та формованим шаром. На рис. 1 наведено схему процесу електроіскрового легування.

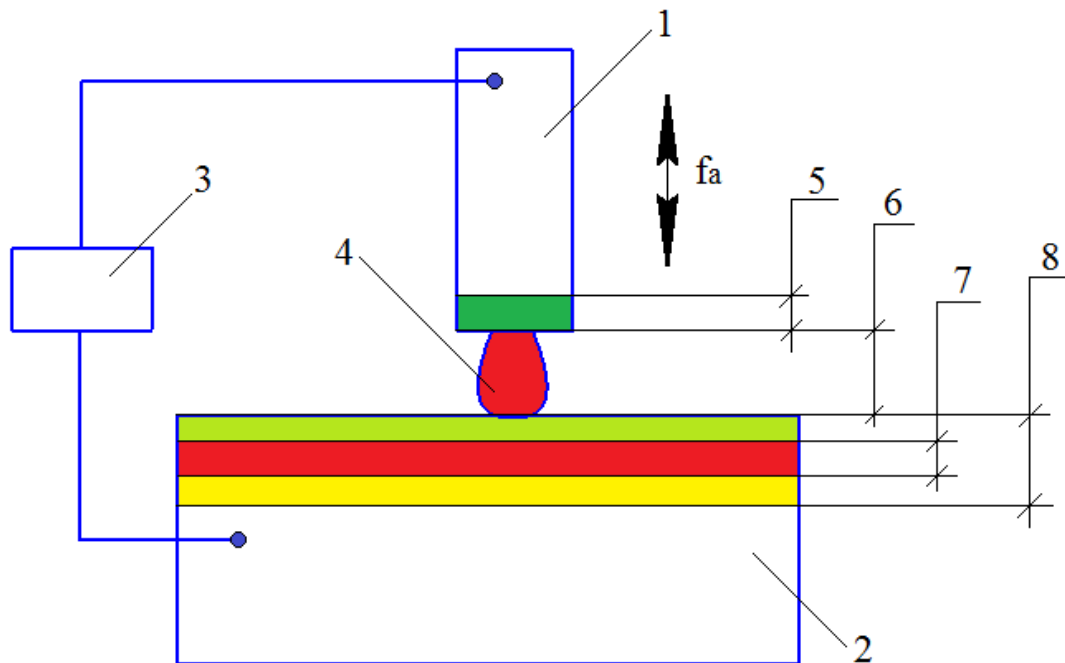


Рис. 1. Схема процесу електроіскрового легування: 1 – анод, 2 – катод, 3 – генератор імпульсів, 4 – іскровий розряд, 5 – вторинна структура анода, 6 – міжелектродний проміжок, 7 – зона термічного впливу, 8 – змінений поверхневий шар, f_a – частота вібрації анода

Елементи матеріалу електрода дифундують у поверхневий шар виробу. В даний час відсутнє задовільне розуміння механізму процесу електроіскрового ле-

гування, що не дозволяє створювати покриття із заздалегідь відомими властивостями. Крім того, поверхневий шар, що утворюється, досить складний за складом і структурою, його властивості часто певною мірою непередбачувані. Тому при даному способі відновлення та зміцнення не завжди вдається отримати покриття (матеріали) із заздалегідь заданими характеристиками. Відомо, що при електроіскровому легуванні послідовним локальним впливом імпульсних розрядів на ділянках поверхні, що обробляється, формується змінений поверхневий шар. Формування його є останнім етапом процесу електроіскрового легування. При цьому одночасно відбувається пробій міжелектронного простору, ерозія та перенесення матеріалу анода на катод [4, 5]. Встановлено, що якісні та кількісні характеристики утвореного поверхневого шару у процесі легування залежать від багатьох факторів. Найбільший вплив мають характеристики імпульсних розрядів, тривалість обробки, природа матеріалу електродів, середовище в міжелектронному просторі та вид руху анода. Незважаючи на велику кількість досліджень, проведених у галузі електроіскрового легування металів, дотепер немає достатньо достовірних відомостей про залежність структуроутворення поверхневого шару сталей з різним вмістом вуглецю та ступенем легування від типу установки, матеріалу електроду, енергії розряду, часу легування. Для кожного конкретного випадку доцільно проводити експериментальне дослідження процесу електроіскрового легування, а також підбір матеріалу електроду за відомими методиками [6].

Перед співробітниками компанії ТОВ «Машинтех» (м. Київ) та кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства НТУ «Дніпровська політехніка» було поставлено завдання визначити раціональні параметри процесу електроіскрового легування заданого матеріалу та встановити можливість вимірювання товщини нанесеного шару з використанням координатно-вимірювальної машини на підприємстві замовника. Дати рекомендації щодо використання режимів обробки у виробничому процесі при відновленні або зміцненні деталей.

Основна частина. Робота виконувалася у три етапи. На першому етапі деталь із сталі 40Х була оброблена на кругло-шліфувальному верстаті для очищення поверхні та надання їй однорідної шорсткості. Після цього зразок було розділено на 9 рівних частин. Зроблено вимір деталі на стаціонарній координатно-вимірювальній машині MORA PRIMUS 564 за методикою, викладеною в роботі [7]. На другому етапі виконувалося електроіскрове легування зразка на установці «Елітрон-52А» при трьох різних режимах із застосуванням електродів із ванадію, титану та вольфраму (табл. 1, 2).

Таблиця 1

Режими електроіскрового легування

Режим ЕІЛ	Робочий струм, А	Ємність, мкФ
1	1,5	120
2	11,5	1560
3	14,5	1990

Таблиця 2

Режими електроіскрового легування та ділянки обробки

Режим ЕІЛ	1	2	3
Матеріал електрода	Ділянки обробки		
Вольфрам (W)	1	2	3
Титан (Ti)	4	5	6
Ванадій (V)	7	8	9

На третьому етапі проводилися виміри товщини поверхневого шару матеріалу деталі після ЕІЛ із застосуванням координатно-вимірювальної машини MORA PRIMUS 564 (табл. 3-5). Фото зразка з ділянками після проведення електроіскрового легування представлено рис. 2.

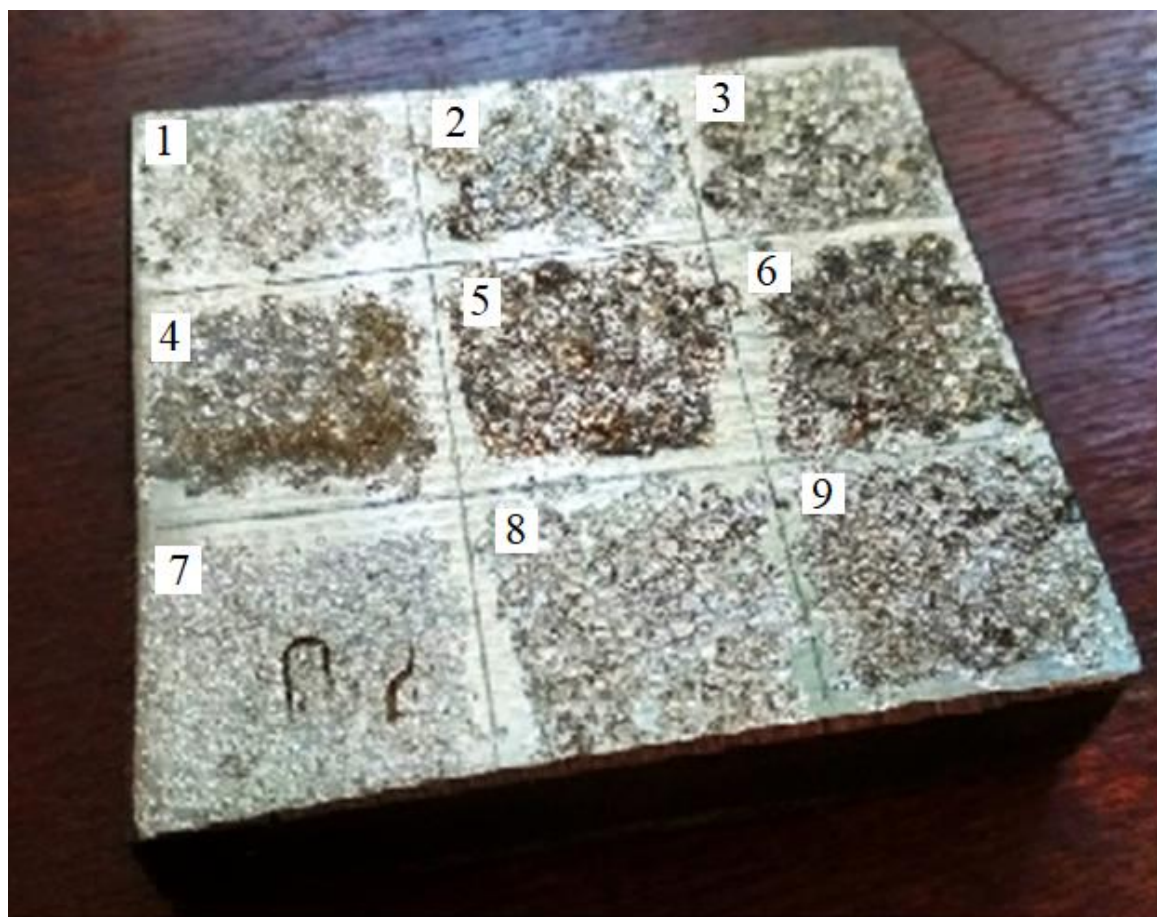


Рис. 2. Фото зразка після електроіскрового легування

Таблиця 3

Товщина поверхневого шару деталі при обробці електродом з вольфраму

Товщина шару, мкм	Номера ділянок		
	1	2	3
до ЕІЛ	0,6183	0,6148	0,6165
після ЕІЛ	0,6393	0,6184	0,6318

Таблиця 4

Товщина поверхневого шару деталі під час обробки електродом з титану

Товщина шару, мкм	Номера ділянок		
	4	5	6
до ЕІЛ	0,6166	0,6159	0,6139
після ЕІЛ	0,6282	0,7014	0,6205

Таблиця 5

Товщина поверхневого шару деталі під час обробки електродом з ванадію

Товщина шару, мкм	Номера ділянок		
	7	8	9
до ЕІЛ	0,6141	0,6153	0,6116
після ЕІЛ	0,6192	0,7039	0,6463

На підставі проведених експериментальних досліджень було збудовано графік залежності товщини поверхневого шару від режимів електроіскрового легування для різних матеріалів електрода (рис. 3).

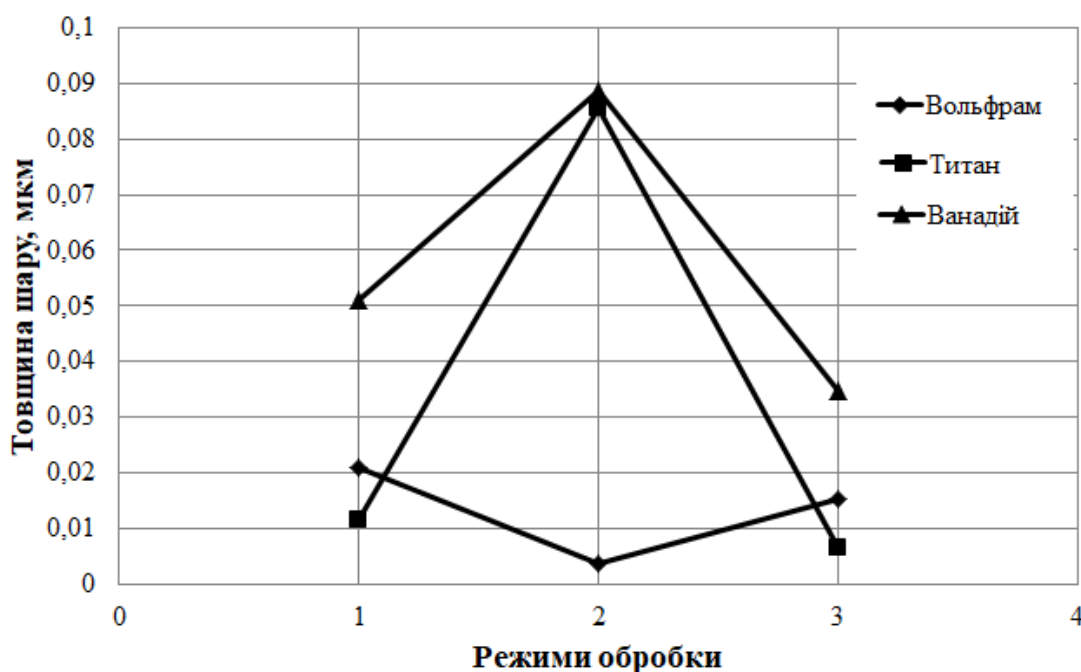


Рис. 3. Залежність товщини шару від режимів обробки

Висновки. Аналізуючи отримані результати, можна побачити, що при другому режимі ЕІЛ для матеріалу електрода з титану та ванадію товщина нанесеного шару максимальна. При візуальному огляді шорсткість обробленої поверхні пропорційно збільшувалася зі збільшенням струму. Якщо розглядати товщину нанесеного шару, отриману при обробці різними електродами за будь-якого режиму, то мінімальне значення отримуємо при використанні вольфрамового електрода. При обробці на третьому режимі з-за великого значення сили струму на

поверхні, що обробляється, відбувається налипання легуючого матеріалу і налипання відпадають, тому товщина нанесеного шару невелика.

Виходячи з вище сказаного, можна дійти висновку, що другий режим обробки у разі є раціональним, оскільки товщина нанесеного шару максимальна, а значення шорсткості має середні показники.

Таким чином, в умовах підприємства замовника було проведено експериментальні дослідження з електроіскрового легування деталі зі сталі 40X та визначено раціональні режими обробки з використанням відповідного матеріалу електрода. Дано рекомендації щодо отримання покриття певної товщини та шорсткості, що дозволить відновити зношену поверхню деталі або зміцнити нову.

Перелік посилань

1. Тарельник, В.Б. (1997). *Комбинированные технологии электроэрозионного легирования*. Техника.
2. Чичинадзе, А.В., Браун, Э.Д., & Буше, Н.А. (2001). *Основы трибологии (трение, износ, смазка)*. Машиностроение.
3. Лазаренко Б.Р. (1951). *Способ нанесения металлических покрытий* (Patent No. 89993).
4. Верхотуров, А.Д., & Николенко, С.В. (2010). Классификация, разработка и создание электродных материалов для электроискрового легирования. *Упрочняющие технологии и покрытия*, 2, 13-22.
5. Ярков, Д.В. (2004). *Формирование функциональных покрытий методом ЭИЛ с применением электродных материалов из минерального сырья Дальневосточного региона*. Дис. канд. техн. наук: 05.02.01.
6. Богданов, А.А., Процив, В.В., Пацера, С.Т., & Дербабба, В.А. (2020). Алгоритм выбора электрода при электроискровом легировании деталей. *Вісник ХНАДУ*, 88, 113-118. <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2020.88.1.113>
7. Богданов, А.А., & Загора, В.В. (2019). Выбор рациональной стратегии измерения деталей на координатно-измерительной машине Mora Primus 564. *Збірник наукових праць НГУ*, 57, 88-96. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/57.088>

ABSTRACT

Purpose. Determination of rational parameters of the process of electrospark alloying of 40X steel parts with different types of electrodes. Measurement of the applied layer thickness using the Mora Primus 564 coordinate measuring machine at the customer's plant. To give recommendations on the use of electrospark alloying processing modes in the production process when restoring parts.

Research methods are based on effective methods of treatment of metal surfaces and technology of obtaining modified layers by electrospark treatment. Measurements were based on theoretical metrology in modeling instrumental errors of measuring instruments, theoretical principles of instrumentation and mechanical engineering technology. The Mora Primus 564 coordinate measuring machine was used during the measurements.

Research results. Electrospark alloying is one of the most common technologies for working with metal, which is characterized by high accuracy and productivity. In addition, high adhesion strength of the applied layer with the base material is provided, and the process itself is easy to perform technological operations and has low energy consumption. The analysis of the main factors influencing the quality of the surface layer during processing is carried out. The process of electrospark alloying of a 40X steel sample was investigated experimentally. During the experiments, modern control and measuring equipment and measurement methods were used.

Scientific novelty. For the first time, rational modes of electrospark alloying with vanadium, titanium and tungsten of 40X steel parts have been determined. The dependence of the thickness of the applied layer on the modes of treatment with different electrode material is established. Recommendations for alloying modes in the production process for 40X steel are given.

Practical meaning. The experimental researches on electrospark alloying of the 40X steel sample carried out in the production conditions allowed to reveal the basic regularities of the formation of the surface layer and to formulate recommendations for obtaining a coating of a certain thickness. This will restore the worn surface of the part or strengthen the new one.

Keywords: *electrospark alloying, surface layer thickness, coordinate measuring machine, electrode material, alloying modes.*