

УДК 621.793; 620.197

Л. Григорчук¹, канд. пед. наук; В. Кустов¹;
М. Осипчук² канд. фіз.-мат. наук; Л. Роп'як¹, канд. техн. наук

¹Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

²Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗМІЦНЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ОБРОБКОЮ ІСКРОВИМИ РОЗРЯДАМИ

Резюме. Розраховано математичне сподівання площі зміцненої поверхні деталі шляхом обробки імпульсами одиничних іскрових розрядів, яке залежить від кількості розрядів та їх площі. Досліджено залежність частки зміцненої поверхні від кількості імпульсів розряду при різних значеннях їх площі та від величини площі одиничного розряду при дії різною кількістю розрядів. Аналіз отриманих результатів свідчить про необхідність урахування площі одиничного іскрового розряду та їх кількості при розробленні технології зміцнення деталей машин.

Ключові слова: поверхня деталі, покриття, іскровий розряд, ймовірність, технологічний процес зміцнення.

L. Grygorchuk, V. Kustov, M. Osypchuk, L. Ropyak

RESEARCH OF STRENGTHENING PROCESS OF MACHINES DETAILS SURFACES BY TREATMENT SPARK DIGITS

The summary. The mathematical hope of area of the fixed detail surface is calculated by treatment of high spark bits impulses, which depends on the amount of digits and their area. Dependence of part of the fixed surface is investigational on the amount of impulses of digit at the different values of their area and from the size of area of high bit at the action of digits a different amount. An analysis of investigated results testifies to the necessity of account of area of high bit and their amount at development of technology of strengthening of details of machines.

Key words: surface of detail, coverage, spark digit, probability, technological process of strengthening.

Постановка проблеми. Для підвищення корозійної стійкості та зносостійкості поверхневих шарів деталей машин, які працюють під дією статичних і динамічних навантажень в умовах агресивних середовищ, що містять абразивні частинки, застосовують імпульсні технології зміцнення. Серед них найбільшого поширення в машинобудуванні набули лазерна, електроіскрова та віброелектроіскрова обробки, мікродугове окисдування, а також електроімпульсні нанотехнології.

У процесі лазерної обробки на невеликі об'єми металу діють висококонцентровані, високошвидкісні потоки енергії, що спричиняють локальне нагрівання верхнього шару деталі та швидке його охолодження. Розповсюдження обробки на всю поверхню здійснюється за рахунок переміщення променя відносно деталі, або навпаки – переміщення деталі відносно променя [1].

У процесі електроіскрової обробки, крім теплової дії електричних розрядів на поверхню деталі також переноситься матеріал електрода, що здійснює відносно деталі осцилюючий рух. У цьому випадку зона обробки поступово охоплює всю поверхню за рахунок переміщення електрода відносно деталі або навпаки [2]. На відміну від електроіскрової, при віброелектроіскровій обробці розповсюдження розрядів поверхнею деталі має випадковий (ймовірнісний) характер, оскільки процес обробки відбувається в середовищі віброуючих гранул-електродів [3]. Такий же характер розповсюдження розрядів поверхнею деталі має місце і при мікродуговому окисдуванні алюмінію та алюмінієвих покриттів (або інших металів вентельної групи) за високих напруг в електроліті. у цьому випадку в каналі іскрового розряду відбувається окислення металу основи компонентами електроліту та формування на поверхні деталі

покриття з високотемпературних фаз оксидів, що володіють високою твердістю, зносостійкістю, корозійною стійкістю і міцністю зчеплення з металевою основою [4-8].

В останні роки також інтенсивно розвиваються нанотехнології, що знайшли застосування і в різних технологічних процесах машинобудування. Наприклад, шляхом впливу наносекундними електромагнітними імпульсами на розплави кольорових металів для покращення їх фізико-механічних властивостей [9].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для розроблення технологічних процесів зміцнення поверхні деталей машин обробкою іскровими розрядами та оптимізації технологічних параметрів необхідні ймовірнісні характеристики цих процесів. У роботі [3] досліджувались характеристики процесу віброелектроіскрового легування і було отримано залежність, яка дає змогу в першому наближенні оцінювати час, необхідний для хоча б одноразової обробки розрядами поверхні зміцнюваної деталі. Вкрай важливим є також знання законів розподілу іскрових розрядів, які виникають на необробленій поверхні, та часу, необхідного для покриття одним шаром розрядів усієї поверхні зміцнюваної деталі, тому що від них залежать технологічні параметри процесу зміцнення (напруга, густина струму, співвідношення анодного і катодного струмів тощо).

Мета роботи – дослідження залежності якості проведення процесу зміцнення поверхні деталі під дією іскрових розрядів від площі обробки одним імпульсом розряду та від їх кількості.

Методика дослідження. Для досягнення поставленої мети використаємо методи теорії ймовірності. Знайдемо математичне сподівання площі, яку можна обробити певною кількістю імпульсів іскрового розряду. Це дозволить встановити залежність між загальною площею зміцнюваної поверхні деталі, площею поверхні, яка зміцнюється одиничним іскровим розрядом, та кількістю одиничних імпульсів розряду, які діють на поверхню.

Нехай площа зміцнюваної поверхні деталі дорівнює F , а площа поверхні, яка може бути оброблена одним імпульсом іскрового розряду, – f . Вважаємо, що кожен наступний імпульс розряду обробляє або повністю необроблену поверхню, або повністю оброблену. Таким чином, після дії n -го імпульсу розряду обробленою виявиться поверхня площею F_n .

Нехай F_n – площа частки обробленої поверхні деталі після дії n -тої кількості імпульсів іскрового розряду. F_n може набувати значення $j \cdot f$, де j – число з ряду 1, 2, ..., n . Позначимо ймовірність того, що оброблена площа дорівнюватиме $F_n = j \cdot f$, через $P_{nj} = P(F_n = j \cdot f)$.

Знайдемо умовні ймовірності

$$P(F_n = j \cdot f / F_{n-1} = j \cdot f) = \frac{j \cdot f}{F}, \quad P(F_n = j \cdot f / F_{n-1} = (j-1) \cdot f) = \frac{F - (j-1)f}{F},$$

$$P(F_n = j \cdot f / F_{n-1} = (j-k) \cdot f) = 0 \text{ при } k = 2, 3, \dots, j-1.$$

Тут використано геометричне означення ймовірності і той факт, що одним імпульсом іскрового розряду можна обробити ще необроблену поверхню площею 0 або f , тобто, якщо імпульс іскрового розряду потрапляє на оброблену поверхню деталі, то він обробляє нульову частку площі необробленої поверхні.

Врахувавши, що система незалежних подій $\{F_{n-1} = l \cdot f\}$, ($l = 1, 2, \dots, j$) утворює повну групу подій, за формулою повної ймовірності [10] (при $n \geq 2$) отримаємо

$$P_{nj} = P_{(n-1)j} \cdot \frac{j \cdot f}{F} + P_{(n-1)(j-1)} \cdot \frac{F - (j-1)f}{F}. \quad (1)$$

Крім того, очевидно, що ймовірність попадання першого іскрового розряду на необроблену поверхню деталі дорівнює одиниці ($P_{11} = 1$).

Увівши позначення $x = \frac{f}{F}$ до рекурентної формули (1), де x – частка площі поверхні, що обробляється одним імпульсом іскрового розряду, отримаємо

$$P_{nj} = a_{nj} x^{n-j} (1-x) \cdot \dots \cdot (1-(j-1)x), \quad (2)$$

де a_{nj} – коефіцієнти, які розраховують із рекурентного співвідношення

$$a_{nj} = j \cdot a_{(n-1)j} + a_{(n-1)(j-1)}, \quad a_{11} = 1. \quad (3)$$

Звідси знаходимо математичне сподівання (середнє значення) площі, обробленої поверхні деталі після дії n -того імпульсу іскрового розряду

$$MF_n = Fx \sum_{j=1}^n j \cdot a_{nj} x^{n-j} (1-x) \cdot \dots \cdot (1-(j-1)x) = F(1-(1-x)^n). \quad (4)$$

Це значення і є F_o – площа обробленої поверхні деталі після дії n -того імпульсу розряду.

Середньою кількістю імпульсів іскрового розряду, необхідних для обробки s -тої частки поверхні деталі, назвемо таку їх найменшу кількість, при якій виконується умова $F_o \geq s \cdot F$. З виразу (4) знаходимо

$$s \leq 1 - (1-x)^n. \quad (5)$$

Звідси отримуємо $(1-x)^n \leq 1-s$. Прологарифмувавши обидві частини цієї нерівності, знайдемо $n \geq \frac{\ln(1-s)}{\ln(1-x)}$. Тому середня кількість \bar{n} імпульсів іскрового розряду, необхідних для обробки s -тої частки поверхні деталі, дорівнює

$$\bar{n} = \left\lceil \frac{\ln(1-s)}{\ln(1-x)} \right\rceil + 1, \quad (6)$$

де вираз, уміщений у квадратні дужки, означає взяття цілої частини числа, тобто заокруглення дробового числа до більшого цілого значення.

Обговорення результатів дослідження. Наприклад, розрахована згідно з формулою (6) кількість імпульсів іскрового розряду при площі одиничного імпульсу іскрового розряду $x = \frac{f}{F} = 0,001$ і частці площі зміцнюваної поверхні деталі $s = 0,99$ становить $\bar{n} = 4603$.

Для визначення необхідної кількості імпульсів іскрового розряду залежно від площі зміцнення одним імпульсом розряду δ і частки поверхні s , яку слід обробити, розглянемо функцію $\frac{\ln(1-s)}{\ln(1-x)}$, позначивши її для зручності через $h(x, s)$

$$h(x, s) = \frac{\ln(1-s)}{\ln(1-x)} \quad (7)$$

Нехай $h(x, s)$ – функція, що визначає необхідну кількість імпульсів іскрового розряду залежно від площі одного імпульсу розряду δ і частки поверхні s , яку необхідно обробити (рис. 1).

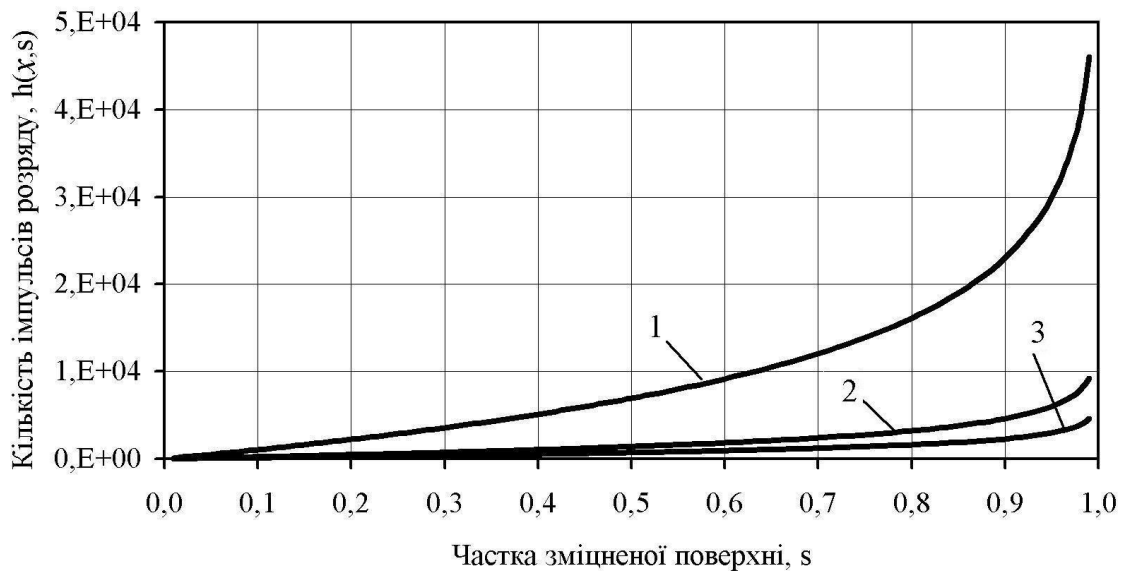


Рисунок 1. Графік визначення кількості імпульсів іскрового розряду, які забезпечують зміцнення відповідної частки поверхні деталі при заданій площі імпульсу розряду, кв. од.:

$$1 - x_1 = 0,0001; 2 - x_2 = 0,0005; 3 - x_3 = 0,0010$$

Аналізуючи представлені на рис. 1 графічні залежності, вкажемо на загальну для них тенденцію, а саме: для збільшення частки обробленої поверхні s необхідна більша кількість імпульсів іскрових розрядів. При цьому зі збільшенням площі одиничного іскрового розряду δ , для обробки заданої частки площі поверхні деталі s кількість імпульсів розряду значно зменшується порівняно з частками площ, оброблених розрядами меншої одиничної площі. Наприклад, якщо площа одного імпульсу розряду збільшується в 10 разів відповідно з $\delta_1 = 0,0001$ кв. од. до $\delta_2 = 0,0010$ кв. од. то для обробки частки поверхні $s = 0,99$ кількість імпульсів іскрового розряду зменшується приблизно в 9 разів.

Для дослідження процесу зміцнення поверхні деталі окрім виразу (7) можна використати ще одну залежність, що поєднує два технологічні параметри – кількість імпульсів іскрового розряду i та площу, оброблювану одним імпульсом іскрового розряду $x = \frac{f}{F}$.

Для цього скористаємося знайденим раніше математичним сподіванням площі обробленої деталі (4) і розглянемо функцію $g(x,n)$, яка визначає залежність частки площі обробленої поверхні деталі від вказаних вище технологічних параметрів

$$g(x,n) = 1 - (1 - x)^n. \quad (8)$$

Після аналітичного дослідження функції (8) отримали графічні залежності частки площі зміцненої поверхні деталі від кількості імпульсів і площі одиничного імпульсу іскрового розряду, які зображені на рис. 2. При побудові графіків цих залежностей задавали різні значення площі одного імпульсу іскрового розряду x_i відповідно: 10^{-4} ; 5×10^{-4} і 10^{-3} кв. од. Наприклад, за кількості імпульсів іскрового розряду $n = 5 \times 10^3$ частка площі обробленої поверхні деталі становитиме відповідно 0,4; 0,94 і 0,99 кв. од.

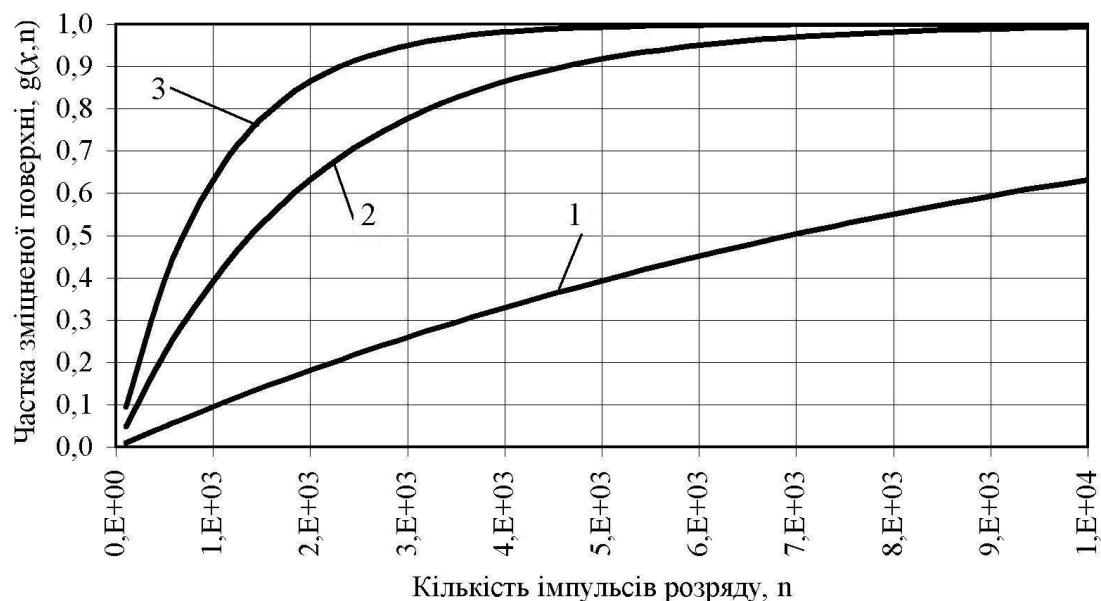


Рисунок 2. Залежність частки зміцненої поверхні деталі від кількості імпульсів іскрового розряду за різних значень площі одиничного імпульсу розряду, кв. од.:

$$1 - x_1 = 0,0001; 2 - x_2 = 0,0005; 3 - \delta_3 = 0,0010$$

Наведені на рис. 2 графічні залежності наочно ілюструють спільне для різних значень площі імпульсу іскрового розряду x зростання величини частки обробленої поверхні деталі s від збільшення кількості імпульсів іскрового розряду i . При цьому величина x впливає на величину частки зміцненої поверхні деталі s по-різному. При $\delta_1 = 0,0001$ дана залежність має лінійний характер, а при більших значеннях x ($\delta_2 = 0,0005$; $\delta_3 = 0,0010$) вона описується параболічними кривими, що вказує на інтенсифікацію процесу зміцнення деталі.

Розглянемо випадок, коли частка обробленої площі поверхні деталі залежить від площі одиничного імпульсу іскрового розряду та їх кількості. Нехай кількість імпульсів іскрового розряду задана: $n_1 = 100$; $n_2 = 500$; $n_3 = 1000$; $n_4 = 5000$. Тоді, відповідно, отримаємо величини часток обробленої площі поверхні деталі (рис. 3).

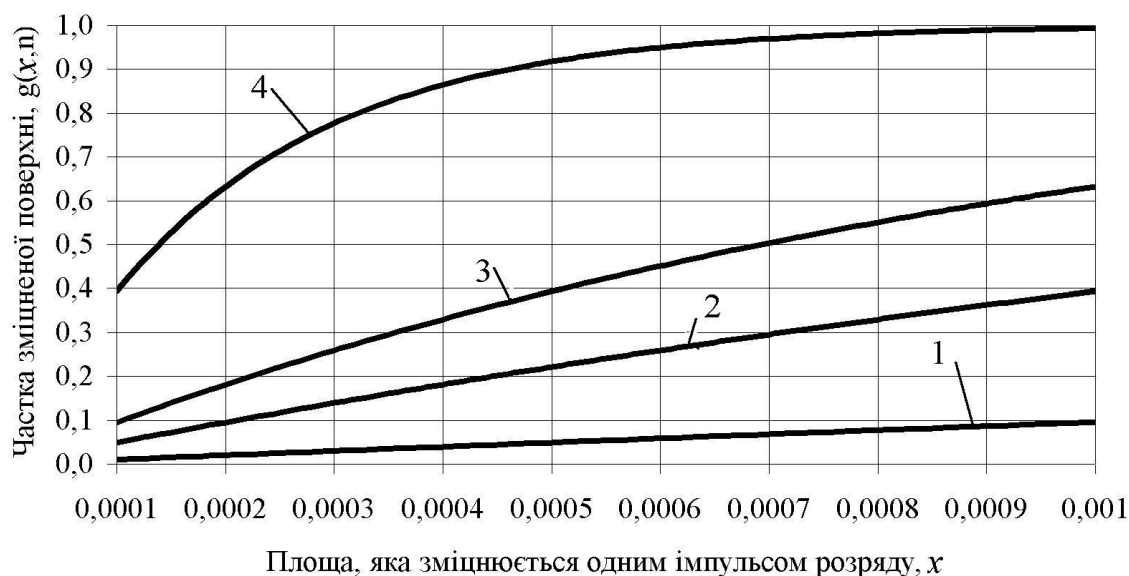


Рисунок 3. Залежність частки зміцненої поверхні деталі від величини площі одиничного імпульсу

іскрового розряду при дії різною кількістю розрядів:

$$1 - n_1 = 100; 2 - n_2 = 500; 3 - n_3 = 1000; 4 - n_4 = 5000$$

З рис. 3 бачимо, що зі збільшенням площі одиничного іскрового розряду δ відповідно збільшується і частка обробленої поверхні деталі s . Характер цього зростання різний і залежить від значень n . Для $n_1 = 100$; $n_2 = 500$ і $n_3 = 1000$ він описується прямими, нахиленими під відповідними кутами до осі абсцис, причому більший кут нахилу відповідає більшому значенню n . При подальшому збільшенні кількості імпульсів іскрових розрядів ($n_4 = 5000$) ця залежність описується параболічною кривою, яка достатньо стрімко піднімається вгору при зростанні площі одиничного імпульсу іскрового розряду з $1 \cdot 10^{-4}$ до $6 \cdot 10^{-4}$. Частка зміцненої поверхні деталі s у цьому випадку складає відповідно 0,4 і 0,95.

Висновок. Аналіз отриманих результатів досліджень свідчить, що частка поверхні зміцненої деталі залежить від кількості імпульсів іскрових розрядів та величини їх площі. Процес зміцнення поверхні деталі описується функцією, за якою визначають необхідну кількість імпульсів іскрового розрядів залежно від їх площі. Водночас, площа одиничного іскрового розряду впливає на величину частки зміцненої поверхні деталі таким чином, що ця залежність набуває параболічного вигляду із збільшенням площі одиничного імпульсу іскрового розряду, причому цей вплив є суттєвішим на ріст інтенсивності процесу зміцнення порівняно зі збільшенням кількості імпульсів іскрових розрядів.

У подальших дослідженнях доцільно розглянути задачу, у якій одиничний імпульс іскрового розряду оброблятиме частину вже зміцненої поверхні деталі та частину ще не зміцненої її поверхні.

Література

1. Коваленко, В.С. Упрочнение и легирование деталей машин лучом лазера [Текст] / В.С. Коваленко, Л.Ф. Головкин, В.С. Черненко. – К.: Техніка, 1990. – 123 с.
2. Электроискровое легирование металлических поверхностей [Текст] / Г.В. Самсонов, А.Д. Вертоухов, Г.А. Бовкун, В.С. Сычев. – К.: Наукова думка, 1976. – 220 с.
3. Смаглюк, А.К. Временные характеристики процесса виброэлектроискрового легирования [Текст] / А.К. Смаглюк // Автоматизация производственных процессов в машиностроении и приборостроении (Респ. межвед. науч.-техн. сборник). – Львов: Выща школа. Изд-во при Львов. ун-те. – 1984. – Вып. 23. – С. 36–38.
4. Применение поверхностного упрочнения алюминиевых сплавов и покрытий для повышения коррозионно-механической стойкости деталей нефтепромышленного оборудования [Текст] / Л.С. Саакиян, А.П. Ефремов, Л.Я. Ропяк, А.В. Эпельфельд. – М.: ВНИИОЭНГ, 1986. – 61 с.
5. Черненко, В.И. Получение покрытий анодно-искровым электролизом [Текст] / В.И. Черненко, Л.А. Снежко, И.И. Папанова. – Л.: Химия, 1991. – 128 с.: ил. (Химия – промышленности).
6. Гордиенко, П.С. Микродуговое оксидирование титана и его сплавов [Текст] / П.С. Гордиенко, С.В. Гнеденков; РАН. Дальневост. отд-ние Ин-т химии. – Владивосток: Дальнаука, 1997. – 179 с.: ил.
7. Микродуговое оксидирование (теория, технология, оборудование) [Текст] / И.В. Суминов, А.В. Эпельфельд, В.Б. Людин и др. – М.: ЭКОМЕТ, 2005. – 368 с.
8. Роп'як, Л.Я. Технологія відновлення та зміцнення штоків бурових насосів [Текст] / Л.Я. Роп'як, В.В. Кустов // Інтелектуальний продукт вчених, винахідників і раціоналізаторів Прикарпаття. (Каталог найвагоміших перспективних винаходів, корисних моделей, промислових зразків і раціоналізаторських пропозицій галицьких кмітливців). – Івано-Франківськ, 2010. – С. 11.
9. Электроимпульсные нанотехнологии [Текст] / В.Ф. Балакирев, В.В. Крымский, Б.А. Кулаков, Ри. Хосен; под. ред. чл.-корр. РАН Л.А. Смирнова. – Екатеринбург: УрО РАН, 2009. – 141 с.
10. Маврин, И.И. Краткий курс теории вероятностей и математическая статистика [Текст] / И.И. Баврин, В.Л. Матросов. – М.: Прометей, 1989. – 136 с.

Отримано 16.05.2011