

Фізичні особливості утворення мікрорельєфу поверхні електроерозійної лунки

Наведено результати дослідження субструктури поверхні лунок після розмірної обробки дугою та описано фізичний механізм її утворення.

електрична дуга, фрактографія лунки, гідродинамічний потік, робоча рідина, субструктура лунки, ініціювання дуги

Розмірна обробка металів електричною дугою (РОД) визначається комплексом фізичних явищ [1, 2, 3], що відбуваються в міжелектродному зазорі малих розмірів (від декілька сотих до декілька десятих часток міліметра) та на поверхні електрода-інструмента і електрода-заготовки: ініціюванням електричної дуги (безконтактним або контактним способом) в умовах потужного гідродинамічного потоку, концентрованим виділенням енергії на поверхні електродів, їх розігрівом та викидом в міжелектродний зазор, виносом потоком твердих, рідких та газоподібних продуктів ерозії із зони обробки, відновленням діелектричних властивостей робочого середовища, взаємовпливу цих процесів між собою тощо.

Дані явища можна умовно поділити на дві групи:

– явища, що протікають протягом горіння електричної дуги, такі як: розвиток подій щодо виникнення розрядної плазми; виділення енергій на електродах, наслідком якої є ерозія їх поверхні; перенос матеріалу одного електрода на інший; деіонізація робочого середовища тощо;

– гідродинамічні явища в міжелектродному зазорі, що характеризуються, як правило, значно більшою тривалістю протікання: еволюція газових порожнин та примусове вилучення робочою рідиною продуктів ерозії крізь малий міжелектродний зазор. Вони обумовлюють таку важливу залежність продуктивності обробки від площі обробки, впливають на точність процесу обробки, на шорсткість поверхні та обмежують продуктивність обробки, так як лімітують густину струму в електроді-інструменті.

У всій сукупності фізичних явищ процесу РОД фундаментальна роль відводиться явищам, що відбуваються в одичинній лунці при збудженні дугового розряду. Серед них домінують електроерозійні явища на електродах. Але слід відмітити, що незважаючи на велику кількість експериментальних та теоретичних досліджень явища електричної ерозії металів, до теперішнього часу не досягнута повна ясність представлень про його фізичний механізм. Але багатьма авторами встановлено, що в основі цього явища лежать теплові процеси на електродах, які виникають при проходженні електричного струму через межу «електрод – дуговий розряд». В роботі [4], що торкається електроімпульсної обробки, відзначена просторово-часова дискретність таких процесів, які виражаються у виникненні, функціонуванні та вгасанні електродних плям.

Дана стаття присвячена виявленню та дослідженню електроерозійних слідів на поверхні одичинної лунки від функціонування електродних плям в умовах процесу РОД.

Об'єктом експериментального дослідження були наступні торцеві поверхні заготовок після електроерозійної обробки:

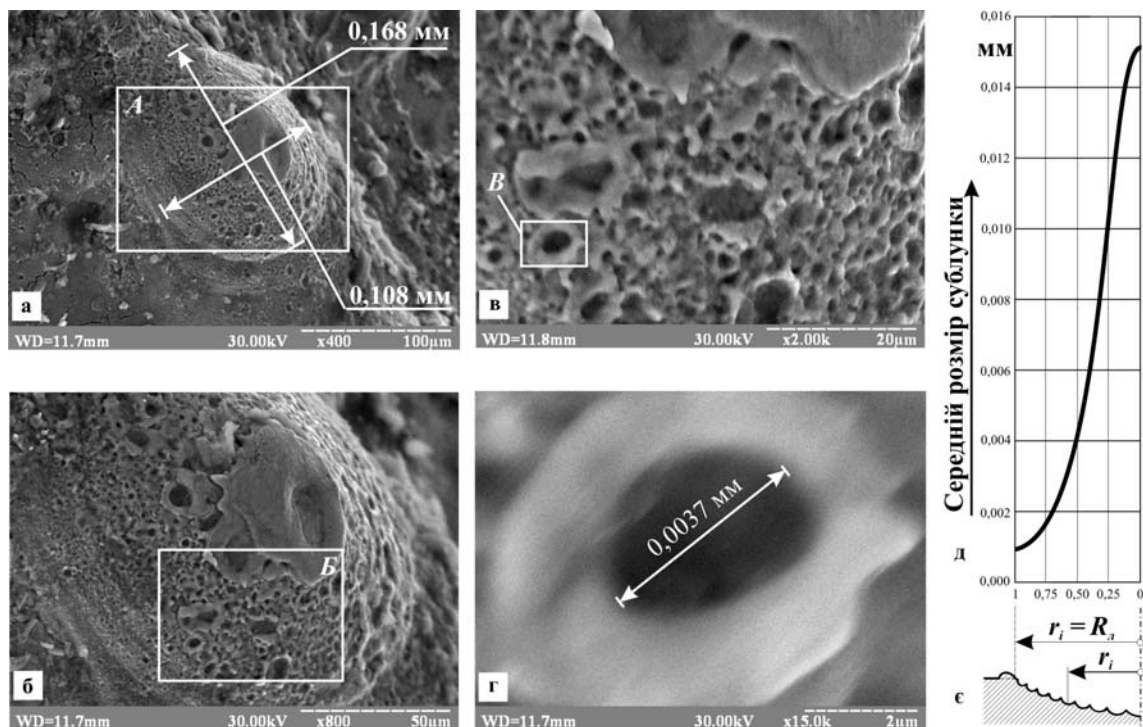
– циліндрична заготовка із сталі 45 (діаметр 30 мм), що оброблена графітовим електродом-інструментом (марка МПГ-7, діаметр 15 мм) способом РОД як тіло обертання при наступному режимі: сила технологічного струму $I = 50$ А, напруга на електродах $U = 30 \dots 35$ В, статичний тиск робочої рідини на вході в торцевий між-електродний зазор $P_{cm} = 1,1$ МПа, пряме прокачування, полярність – зворотна, робоча рідина – технічна вода;

– плоска заготовка із сталі 45, що частково (початкова фаза обробки) оброблена графітовим електродом-інструментом (марка МПГ-7, діаметр 40 мм) способом РОД за принципом прошивання при наступному режимі: сила технологічного струму $I = 1$ А, напруга на електродах $U = 45$ В, статичний тиск робочої рідини на вході в торцевий міжелектродний зазор $P_{cm} = 1,1$ МПа, зворотне прокачування, полярність – зворотна, робоча рідина – органічне середовище;

– плоска заготовка із сталі 1Х18Н9Т, що оброблена графітовим мідним електродом-інструментом (марка М1, розміри в плані – 15×20 мм) способом електроімпульсної обробки за принципом прошивання при наступному режимі: сила технологічного струму $I = 10$ А, напруга на електродах $U = 100$ В, без прокачування робочої рідини, полярність – зворотна, робоча рідина – органічне середовище. Дана заготовка узята для порівняння із заготовкою після РОД.

Експериментальні дослідження поверхонь лунок після електроерозійної обробки здійснювали з використанням растрового електронного мікроскопа моделі РЕМ-106И, на якому фрактографії поверхонь розглядалися із різним рівнем збільшення (від $\times 40$ до $\times 30\,000$).

В результаті вивчення фрактографій поверхні одиначної лунки тіла обертання після РОД сталі 45 в потоці технічної води виявлено субструктуру лунки (рис. 1, а – г).



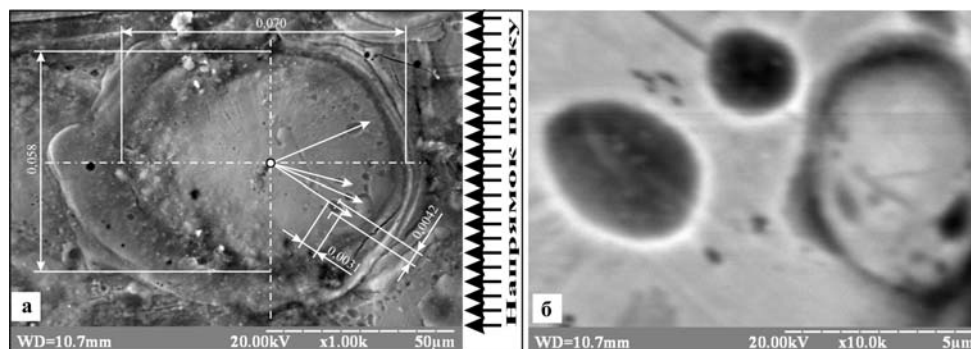
а – загальна картина (x 400); б – ділянка А (x 800); в – ділянка Б (x 2000); г – ділянка В (x 15 000); д – залежність середнього розміру сублунки в плані від г_і; е – профіль одиначної лунки

Рисунок 1 – Фрактографія субструктури одиначної лунки після РОД тіла обертання із сталі 45 (технічна вода)

Електричний дуговий розряд в рамках лунки має складну багатоканальну структуру. Внаслідок цього одиначна лунка складається із великої кількості дрібних лунок (сублунок). Встановлено, що діаметр сублунок зростає в напрямку від периферії до центру одиначної

лунки (рис. 1, д, е). Так, середній розмір сублунки на периферії становить 0,0015 мм, між центром та периферією – 0,0040 мм, а центральної сублунки – 0,0150 мм. Останнє пояснюється пінч-ефектом, що приводить до стягування силових ліній струму та їх концентрації біля центру одиначної лунки. При цьому густина струму в центрі дуги приблизно на порядок більше густини струму на периферії одиначної лунки.

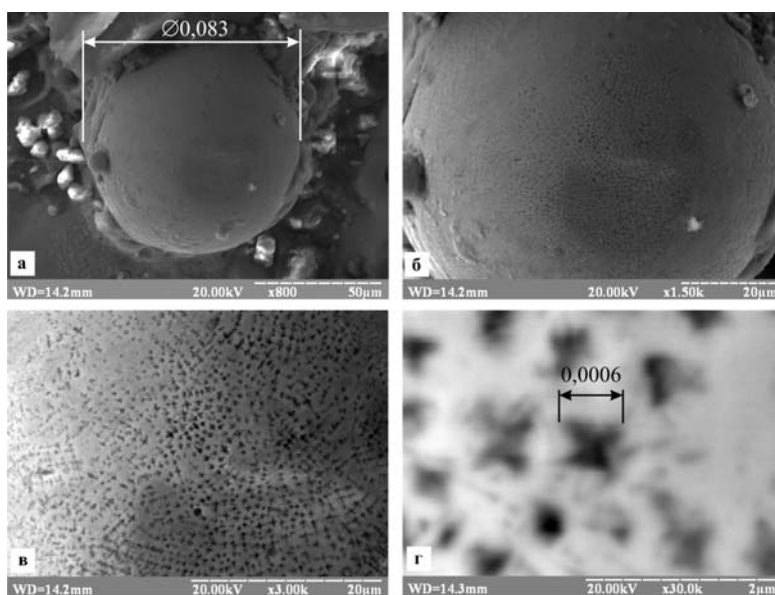
Встановлено (рис. 2), що поверхня одиначної лунки після РОД зразка із сталі 45 в потоці органічного середовища гладка і лише має декілька випадкових сублунок. Вони мають форму еліпса, довга вісь якого витягнута в радіальному напрямку відносно центру одиначної лунки. Останнє свідчить про формування сублунок під час розширення газової порожнини, тобто поза залежністю від напрямку потоку в торцевому міжелектродному зазорі.



а – загальна картина (г1000); б – випадкові сублунки (г10 000)

Рисунок 2 – Фрактографія структури одиначної лунки після РОД зразка із сталі 45 (прошивання, органічне середовище)

Із фрактографії поверхні одиначної лунки після електроімпульсної обробки зразка із сталі 1X18Н9Т в нерухомому органічному середовищі (рис. 3) виявлено субструктуру лунки. Сублунки приблизно однакового розміру в плані (біля 0,5 мкм) рівномірно розташовані в центральній частині одиначної лунки, що свідчить про їх походження: високочастотне пакетне бомбардування поверхні імпульсними розрядами. На периферійній частині одиначної лунки сублунок не виявлено.



а – загальна картина (г800); б – фрагмент (г1500); в – фрагмент (г3000); г – фрагмент (г30 000)

Рисунок 3 – Фрактографія структури одиначної лунки після електроімпульсної обробки зразка із сталі 1X18Н9Т (прошивання, органічне середовище)

Для пояснення причин, за котрими на донній поверхні одиничній лунки утворюються сублунки, виконаємо порівнювальний аналіз умов за якими вони утворилися для різних способів обробки (табл. 1).

Таблиця 1 – Порівнювальний аналіз умов обробки

Спосіб обробки (робоча рідина)	Стан робочої рідини в міжелектродному зазорі	Спосіб ініціювання розряду	Субструктура донної поверхні лунки
РОД (технічна вода)	Динамічний потік	Безконтактний (пробій)	Сукупність різних сублунок з підвищенням розміру до центру
РОД (органічне середовище)	Динамічний потік	Контактний	Гладка поверхня, одиничні сублунки
Електроімпульсна обробка (органічне середовище)	Нерухома	Безконтактний (пробій)	Центральна сукупність однакових сублунок

В роботі [3] експериментально доказано, що при РОД збудження електричної дуги в динамічному потоці органічного середовища відбувається виключно контактним способом, тобто за рахунок місцевого нагрівання матеріалу до температури плавлення, випаровування, а видалення металу із одиничної лунки здійснюється у рідкому (крапельному) стані, або у вигляді конденсованого металевго пару. Наявність контакту між поверхнями електродів в початковій фазі процесу сприяють об'єднанню електродних плям в одну, результатом чого є одинична лунка з гладкою донною поверхнею. В той же час при РОД збудження електричної дуги в динамічному потоці технічної рідини відбувається безконтактним способом, тобто за рахунок пробою між-електродного зазору. Останнє пояснюється значно меншою електричною міцністю динамічного потоку води, порівняно з електричною міцністю динамічного потоку органічного середовища. Саме тому на деякій відстані між електродами формується багатоканальна електрична дуга, фізичним наслідком якої є сублунки. При електро-імпульсній обробці збудження електричного розряду в нерухомому органічному середовищу здійснюється також за рахунок пробою [4]. Тому механізм утворення сублунок на донній поверхні одиничної лунки аналогічний механізму при РОД з використанням технічної води.

Отримані результати досліджень дозволяють розширити теоретичне уявлення та глибше зрозуміти таке фізичне явище, як електрична дуга в поперечному потоці робочої рідини – інструмент для розмірної обробки металів.

Список літератури

1. Носуленко В. І. Розмірна обробка металів електричною дугою: Автореф. дис... д-ра техн.. наук: 05.03.07 / НТУУ «КПІ». – Київ, 1999. – 36 с.
2. Боков В. М. Розмірне формування поверхонь електричною дугою. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий центр ТОВ «Імекс-ЛТД», 2002. – 300 с.
3. Боков В. М., Гросул І. А. Механізм збудження дуги в потоці рідини // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація./ - Вип. 17. – Кіровоград: КНТУ, 2006. – с. 108-116.
4. Электроэрозионная обработка металлов / М. К. Мицкевич, А. И. Бушик, И. А. Бакуто и др.; Под ред. И. Г. Некрашевича. – Минск: Наука и техника, 1988. – 216 с.

Приведены результаты исследования субструктуры поверхности лунок после размерной обработки дугой и описан физический механизм её образования.

It is given the results of substructure research of hole surfaces in the result of dimensional arc treatment and it is described the physical mechanism of its formation.