

Н.И., Мукоида О.Н. Уравнение состояния конструкционных материалов в условиях многоосной циклической ползучести с учетом поврежденности // Проблемы прочности, 1990, №5, с. 10-19. 4. Колмогоров В.Л. Напряжения, деформации, разрушение. – М.: Металлургия, 1970, 232 с. 5. Богатов А.А., Мижирицкий О.И., Смирнов С.В. Ресурс пластичности металлов при обработке давлением. – М.: Металлургия, 1984, 144 с. 6. Качанов Л.М. О времени разрушения в условиях ползучести. //Изв. АН СССР, Механика твердого тела, – 1958. – с.61-67. 7. Работнов Ю.Н. О механизме длительного разрушения. // Вопросы прочности материалов и конструкций. – М.: Изд-во АН СССР, 1959, с.5-7. 8. Грабовський А.П., Тимошенко О.В., Масло О.М., Халімон О.П. Дослідження кінетики пошкоджуваності в конструкційних матеріалах при складному напруженому стані. // Вестник НТУУ „КПІ”, серія Машиностроение. К. 2003, №44, с. 43-47. 9. Jean Lemaitre. Mechahics of solid materials., Cambridge university press, 1992, s. 210.

Сдано в редакцию 23.05.05
Рекомендовано д.т.н., проф. Керекеш Т.

ФІЗИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ІНІЦІУВАННЯ РОЗРЯДІВ ПРИ РОЗМІРНІЙ ОБРОБКИ ДУГОЮ

Гросул І. А., Боков В. М. (КНТУ, м. Кіровоград, Україна)

The results of investigations of electric arc and erosion products interaction with the electrodes surfaces under the influence of hydrostatic and hydrodynamic pressures are presented. It is shown, that such influence leads to electric arc become compressed in time and space. By means of conventional photography was investigated the integral effect of electrodes surfaces interaction with electric arcs of different currents and by means of high-speed photorecord method abovementioned interaction was investigated in dynamic.

Електроерозійна обробка металів, зокрема електроімпульсна обробка (ЕІО), посідає важливе місце у сучасному машино- та приладобудуванні. Її широке використання пов'язано, насамперед з простою схемою реалізації (один поступальний рух електрода-інструмента) та можливістю обробляти деталі будь-якої форми, з будь-яких ступопровідних матеріалів, поза залежністю від твердості, з потрібною технологічною точністю та якістю обробленої поверхні. Прогнозування кінцевого результату ЕІО стало можливим завдяки ретельному вивченню багатьма авторами [1, 2, 3] фізичного механізму електричної ерозії як феномена руйнування металу.

Однак продуктивність ЕІО приблизно в 10-20 разів менша продуктивності механічної обробки, що суттєво обмежує галузь її використання, зокрема в основному виробництві. Одна із причин низької продуктивності ЕІО – дискретне (з паузами) підведення енергії в зону обробки.

Подальше збільшення продуктивності обробки (в десять і більше разів) пов'язано з використанням способу розмірної обробки електричною дугою (РОД) [4], при якому енергія вводиться в зону обробки неперервно з використанням джерел живлення постійним технологічним струмом. Але фізичний механізм ерозії способу РОД ще недостатньо вивчений і в основному описаний з точки зору простої суті [4]. Наукова цікавість до фізичних особливостей цього способу пов'язана з прагненням більш повно реалізувати його переваги, а саме, підвищити якість обробки при збереженні високої продуктивності. На теперішній час шорсткість отриманих способом РОД поверхонь ни

є меншою ніж Ra 6,3 мкм [5]. З початком більш поглибленого вивчення фізики процесу РОД [6], доведеною є можливість отримання поверхонь з шорсткістю Ra 1,6 мкм [7]. Отже, метою даної роботи є доповнення існуючих уявлень про фізичний механізм електричної ерозії при РОД, а також встановлення спільного та відмінного з таким при ЕЮ.

Основні закономірності електроерозійного руйнування металів стали відомими в 50-х ... 60-х роках минулого сторіччя [1]. Звичайній ЕЮ притаманне використання в якості джерел живлення різноманітних генераторів імпульсів, а в якості робочої рідини (РР) – діелектричних середовищ (гас, масло, тощо). Отже, енергія, що вводиться протягом одного одиничного ерозійного акту, дорівнює енергії імпульсу, яка визначається за формулою:

$$W = \int_0^{t_i} UI dt,$$

де t_i – тривалість імпульсу, а U та I – відповідно напруга та сила струму в імпульсі.

Сучасні генератори імпульсів [2] дозволяють керувати як тривалістю та формою імпульсу, так і його електричними параметрами, що означає керування енергією та швидкістю її введення в одиничний ерозійний акт (діапазон енергій, що використовується при ЕЮ, лежить в межах $5,5 \cdot 10^{-6}$ – 15 Дж). Енергія одиничного імпульсу визначає об'єм металу видаленого з лунки, а отже продуктивність обробки. Об'єм та глибина отриманої лунки, в свою чергу, визначають шорсткість отриманої поверхні, яка являє собою сукупність одиничних лунок. Крім того, слід зауважити, що імпульси подаються з певною шпаруватістю. Це потрібно для того, щоб на місці, де щойно існував електричний розряд, не відбулося повторного розряду, тобто потрібен деякий час для деіонізації міжелектродного проміжку (МЕП). Останнє пов'язано з наступним. На місці, де щойно в РР між електродами існував електричний розряд, ще деякий час присутні продукти іонізації РР та матеріалів электродів. Їх поява обумовлена існуванням розряду, який являє собою високотемпературний іонізований газ. Шпаруватість електричних імпульсів зазвичай лежить в межах 1,2 ... 10, причому більші значення відповідають більшим частотам проходження імпульсів, які, в свою чергу, відповідають чистовим режимам обробки [2].

Протікання ерозійних актів при ЕЮ проходить в наступній послідовності. При зближенні электродів в деякий момент часу напруженість електричного поля між найближчими точками электродів досягає критичної величини для даної РР і відбувається її пробій (значення критичної напруженості при використанні забрудненої продуктом ерозії РР, що являють собою переважно частки сферичної форми, зменшується в кілька разів у порівнянні з чистою). В місці пробією виникає канал електричного розряду, тривалість існування якого дорівнює тривалості імпульсу напруги, що надходить від генератору (діапазон тривалостей 0,5 ... 1000 мкс). Метал электроду-заготовки (ЕЗ) під впливом високої температури розряду видаляється у різних фазових станах: як у пароподібному, так і у рідкому. При цьому із збільшенням тривалості імпульсу частка металу, що видаляється з ерозійної лунки у рідкому стані, збільшується. Слід також зазначити, що видалення рідкої фази з лунки відбувається після скінчення імпульсу напруги. Це здійснюється за рахунок наступного механізму. Під час існування електричного розряду навколо нього існує парогазова порожнина, що переважно утворена з РР розігрітою стовпом розряду. Фізичний стан цієї порожнини характеризується температурою T_n та тиском P_n . Коли імпульс напруги закінчується,

стовп каналу розряду зникає, тиск швидко падає і для його нового значення розплав в лунці виявляється перегрітим. Внаслідок цього в розплаві з'являються осередки бурного кипіння і метал видаляється [1, 2, 3, 8]. Можливий також електродинамічний механізм викиду металу з лунки, причина якого – взаємодія магнітного поля струму в приповерхневому шарі електроду з вихровими струмами, які виникають при зміні струму розряду. Не акцентуючи уваги на такому механізмі, звернемо увагу тільки на те, що він є можливим тільки при крутому задньому фронті імпульсу струму.

Спосіб РОД відрізняється від способу ЕЮ, по-перше, застосуванням потужного помпування РР крізь МЕП (швидкість РР в МЕП може лежати в межах 0,5 ... 50 м/с [4, 5], а при ЕЮ РР або нерухома, або помпується із незначною, порівняно з РОД, швидкістю [2, 3]), по-друге, використанням в якості джерел живлення зварювальних випрямлячів з крутопадаючою вольт-амперною характеристикою (ВАХ), тобто застосуванням постійної напруги. Висока швидкість помпування досягається нагнітанням РР під високим гідростатичним тиском в МЕП. Отже, при РОД мають місце відмінні від ЕЮ гідродинамічні та гідростатичні умови в зоні обробки, які впливають на всі фази існування електричного розряду. Крім того, саме застосування потужного помпування дає можливість використання постійної напруги для обробки, що буде показано нижче.

Наведені вище умови здійснення процесу РОД припускають відмінність механізму ініціації електричного розряду. Важливість вивчення цієї фази процесу РОД пояснюється тим, що наприклад при ЕЮ "... всі характеристики процесу обробки задаються першою фазою електричного розряду, а саме фазою пробую. Значення напруги імпульсу визначає величину МЕП, а отже умови видалення продуктів ерозії, продуктивність, точність та якість обробки" [2]. Доведеним є факт, що в умовах РОД ініціація електричного розряду відбувається або безпосереднім контактуванням електродів через обмежені площини нерівностей їх поверхонь, або контактуванням через продукти ерозії, що надходять в МЕП з РР (ступінь очищення РР звичайно не перевищує 0,1 мм) та ті, що безпосередньо утворюються в МЕП за рахунок руйнування дугою металу. Підтвердженням цього є результати експериментальних досліджень щодо вивчення електричного пробую МЕП в умовах РОД, які показали, що в діапазоні швидкостей РР 0,5 ... 10 м/с (даний діапазон відповідає діапазону статичних тисків РР на вході в МЕП 0,1 ... 2 МПа) при значенні прикладеної напруги 1000 В в системі електродів "площина-площина" пробую не зареєстровано при зазорі між електродами до 0,02 мм. Подальше зменшення зазору в експерименті не мало сенсу, так як відомо, що значення торцевого МЕП при РОД є не меншим 0,1 мм при напрузі на МЕП 30 В [4, 5]. Простий перерахунок наведених значень напруги та величини МЕП в напруженість електричного поля E дають для обробки значення $E_0 = 3 \cdot 10^5$ В/м, а для експерименту – $E_e = 5 \cdot 10^7$ В/м. Так як $E_e \gg E_0$, а в експерименті та при обробці застосовувалася РР з однаковими фізичними властивостями (суміш гасу та масла И-20 в співвідношенні 1:1), є очевидним, що при РОД ініціація процесу відбувається не за рахунок пробую РР. В експерименті застосовувалася РР значно забруднена продуктами ерозії та продуктами високотемпературного розкладу графіту і РР (експеримент проводився на промисловому верстаті). Отже, для такої РР слід було б очікувати значного зменшення критичної (пробойної) напруженості. Так є відомим, що подібні забруднення спроможні зменшити її в декілька разів. В той же час для очищеного гасу при зазорі 0,05 мм пробивна напруга становить близько 160 В. Таким чином, спосіб РОД відрізняється від способу ЕЮ механізмом ініціації розряду. Пояснити це можна впливом високого статичного тиску в МЕП: є відомим, що при збільшенні статичного

тиску в n разів для пробою того ж проміжку необхідно прикласти напругу в n^2 більшу [9]. Крім того, за даними роботи [10] вважається недостатньо вивченим вплив високих швидкостей РР на пробойні явища.

При ініціації розряду продуктами ерозії, що надходили в МЕП з забрудненою технічною водою (розмір часток до 0,2 мм), були отримані одиночні лунки 3, типові для донної поверхні при РОД (рис. 1, б, в). Очевидно, що продукт ерозії, електрично замкнувши МЕП, швидко прогрівається теплом Джоуля і далі рухається по МЕП в розплавленому стані в напрямку руху РР, продовжуючи електрично замикати зазор. При цьому він збільшує власні розміри, проплавляючи поверхню і захватуючи матеріал ЕЗ за ефектом сніжного кому. З виходом за межі МЕП продукт ерозії продовжує рухатися з потоком РР і частково полишає своє тіло, утворюючи на поверхні ЕЗ наплавлений валик 4. Слід відмітити, що при недостатньому помпуванні та тих же умовах (рис. 1, г) продукти ерозії не полишають МЕП, утворюючи на ЕЗ сліди пригару 5 (шар продуктів руйнування графіту). Більш того, сліди пригару 5 спостерігаються і при достатньому помпуванні, але при використанні чистої технічної води (рис. 1, д). Останнє пояснюється наявністю початкової струмопровідності технічної води, а отже наявністю електролітичного струму, який і призвів до анодного руйнування графітового ЕІ.

Однак, наведені експерименти доводять тільки те, що процес РОД починається або з безпосереднього контакту поверхонь електродів, або з електричного замкнення МЕП продуктами ерозії, що надходять з забрудненою рідиною. В той же час невідомим залишається механізм ініціації безпосередньо в процесі обробки, коли міжелектродний зазор (МЕЗ) становить 0,1 мм і більше, а осцілограма напруги та струму процесу має безперервний характер і подібна до такої при зварюванні [4, 5], але процес горіння дуги має дискретний характер. Останнє спостерігається при вивченні поверхонь після РОД, які являють собою сукупність одиночних лунок, а також підтверджується при вивченні динаміки процесу за допомогою надшвидкісного фотореєстратора [6]. Важливо відзначити, що при ЕІО контактування між електродами є недопустимим і приводить до виникнення пригарів на останніх і, в кінцевому підсумку, до спотворення їх геометричних розмірів, а отже і до виходу їх з ладу.

Для виявлення механізму ініціації електричних розрядів безпосередньо в процесі РОД була досліджена торцева поверхня ЕІ (матеріал – графіт МПГ-7), яку отримано при наступних умовах: матеріал ЕЗ – сталь 5ХНМ; глибина прошивання отвору - 400 мм; сила технологічного струму - 300 А; РР - суміш гасу та масла И-20; технологічний тиск РР на вході в МЕП - 1МПа; помпування – зворотне (рис. 2, а, б). Відносний лінійний знос ЕІ – 1 %, але об'ємний знос – значно більший. Зношена поверхня являє собою слідограму впливу процесів в МЕП на матеріал ЕІ (рис. 2, в). Вона поділяється на три характерних зони. Зона А являє собою зовнішню периферію ЕІ і має у перерізі вигляд невеликого (радіусом 0,1 ... 0,5 мм) буртика. Ініціація у цій зоні відбувається переважно за рахунок контактування між обмеженими площинами нерівностей на поверхнях електродів. В ході обробки ці нерівності мають досить визначений характер. В зоні А на ЕЗ це місце переходу від меншої шорсткості (одиниці мікронів) на бічній поверхні до більшої (десятки мікрметрів) на донній. Ці нерівності утворюються лунками. На ЕІ в зоні А нерівності утворені з осівших у розплавленому стані продуктів ерозії (рис. 3, а, б). Причому, якщо в зоні А їх розмір не перевищує сотих часток міліметру, то по мірі зменшення статичного тиску, або, що теж саме, по мірі руху РР від входу до виходу з МЕП, їх розміри збільшуються до десятих часток міліметру (рис. 3, в). Крім того, як показано в роботі [5], поверхні графітових ЕІ вкриті й більш

меншими частками матеріалу ЕЗ з розмірами 10^{-3} мм. Наявність контактних перемичок в зоні *A* дозволяє віднести метод обробки в цій зоні до контактної-дугових методів, при яких, як відомо, для формування імпульсів струму через МЕРП використовується кінематична особливість процесу. Як і у випадку електроконтактної обробки (ЕКО), такою кінематичною особливістю є рух ЕІ. При РОД ЕІ знаходиться в безперервному зворотно-поступальному русі, що дозволяє в залежності від режиму та площі обробки забезпечити необхідну швидкість його переміщення в напрямку руйнування металу і одночасно забезпечити ініціювання у випадку переривання процесу. Так як в зоні *A* має місце контактування, розглянемо механізм ерозії в цій зоні зважаючи на закономірності ЕКО та враховуючи особливості РОД. Важливо відмітити, що слід очікувати іншого механізму ерозій при РОД ніж при ЕІО. Електродинамічний викид металу неможливий так як при РОД відсутні круті задні фронти імпульсів струму, а механізм викиду металу після скінчення імпульсу напруги неможливий, так як в умовах РОД напруга прикладена до МЕРП постійно.

Можливі варіанти розвитку подій в зоні *A* після початку контактування, в залежності від початкових умов, розглянуто на рис. 4. Для всіх варіантів з появою контактної перемички метал в ній за рахунок тепла Джоуля прогрівається до температури плавлення з утворенням краплини (рис. 4, а). З досягненням цієї температури слід розглянути баланс основних тисків та сил, що діють на краплину розплавленого металу, який продовжує нагріватися і знаходиться в газовій порожнині 3, утвореній з парів РР. До них відносяться: статичний тиск P_{CT} ; сила F_D від динамічного тиску P_D з боку потоку РР; лапласівський тиск P_L ; тиск від магнітного поля P_H (пінч-ефект); F_G , F_M – сили молекулярної взаємодії по площі поверхонь, відповідно, металева крапля – графіт та металева крапля – метал. Оскільки час тривалості одиночних ерозійних актів лежить в діапазоні $10^{-2} \dots 10^{-4}$ с [6], справедливо прийняти $P_{CT} = const$, $F_D = const$. Лапласівський тиск P_L та сили F_G та F_M від того моменту, коли краплина металу переходить в розплавлений стан, поступово зменшуються, так, як з наближенням до температури кипіння зменшується коефіцієнт поверхневого натягу α . Тиск P_L намагається зберегти найменшу площу поверхні краплини та попереджує змочування розплавленим металом краплини поверхонь електродів. Сила стиснення металеві краплі власним магнітним полем струму, що протікає крізь неї, збільшується із зменшенням площі поперечного перерізу краплі. Отже, маємо:

$$P_{CT} \approx 1 \text{ МПа} = const \quad (\text{типове значення}); \quad F_D = \frac{C_x \rho v^2 \pi R_k^2}{2} = const;$$

$$P_L = \frac{2\alpha}{R_k}, \quad \text{при } \alpha \rightarrow 0; \quad P_H = \frac{I^2}{2\pi R_k};$$

$$F_G = 2R_k \Delta\alpha_1; \quad F_M = 2R_k \Delta\alpha_2,$$

де C_x – безрозмірний коефіцієнт, що залежить від форми тіла; ρ - густина металу краплини; v - в'язкість рідини; R_k – радіус краплини металу; I – сила струму через металеву краплину; $\Delta\alpha_1$ - енергія відриву краплини по поверхні графіт-метал краплини; $\Delta\alpha_2$ - енергія відриву краплини по поверхні метал краплини - метал ЕЗ.

Враховуючи неможливість кількісного визначення окремих змінних, покажемо можливі варіанти розвитку подій в залежності від співвідношення сил та тисків. Контактнування можливе як через одну краплину металу, так і через кілька таких краплин. В цьому випадку при великій силі струму слід чекати миттєвого вибуху із

утворенням рідкої та парової фаз (рис. 4, варіант I). На рис. 4, варіант II представлено випадок, коли сила F_D відносно мала та виконується нерівність

$$P_{CT} + P_{II} > P_D. \quad (1)$$

Тиск P_D та сили F_G та F_M , по мірі подальшого нагрівання, зменшуються, розплавлена краплина стискується тисками P_{CT} та P_{II} і одночасно починає розтікатися по поверхням електродів. На якомусь етапі вона перетворюється на циліндр і площа її поперечного перерізу зменшується. Одночасно збільшується тиск P_D . Зона найбільшого падіння напруги зміщується з приелектродних областей в центр металевого містка, провокуючи більший нагрів у цьому місці. Місток розривається з лунки ініціюючи розряд. Метал видаляється з лунки та з поверхні графіту в рідкому стані за рахунок високого тиску в парогазовій порожнини та дії динамічного тиску потоку і рухається переважно в напрямку потоку. При недостатньому помпуванні виникає дуга подібна до звичайної зварювальної, а метал видаляється у всіх радіальних напрямках, ініціюючи розряди не тільки в напрямку руху РР і тому спостерігається не розмірна (груба) обробка. При помпуванні, достатньому для розмірної обробки, але недостатньому для належного видалення продуктів ерозії в напрямку помпування, при РОД виникає тип шорсткості, коли продукти ерозії осідають на бічній поверхні. Далі потік свіжої рідини, що набігає, діює на МЕР і тим самим запобігає виникненню розряду на тому ж місці через іонізоване середовище.

У випадку виконання нерівності (1), але за умови превалюючої дії сили F_D та недостатньої сили струму для швидкого руйнування краплини, вона спроможна рухатися по МЕР в напрямку руху РР, продовжуючи електрично контактувати з електродами (рис. 4, варіант III). Аналогією є зішнурована з розплавом “краплина-дуга” при ЕКО, яка, за відсутністю потужного помпування РР, мігрує по МЕР [11]. За інших рівних умов, коли сила F_D має проміжне значення, можливий варіант IV (рис. 4).

Малий, по відношенню до зони *B* (рис. 2, в), знос в зоні *A*, пов'язаний з відносно малими термічними навантаженнями в цій зоні на ЕІ від тиску в парогазовій порожнини та малими термічними навантаженнями від дії розрядів. Це пов'язано із геометричним розташуванням зони *A* відносно бічної поверхні. Приблизно від моменту розплавлення металу краплини, навколо неї з подальшим нагріванням утворюється парогазова порожнина, яка спроможна відтіснити краплину від бічної поверхні. Розмір зони *A* в плані приблизно дорівнює розміру гексагональних лунок зони *B*, тобто розміру газових порожнин. Цим пояснюється в кілька разів менша шорсткість на донній поверхні ЕЗ в зоні *A* у порівнянні з зонами 2 та 3. А з теорії ЕІО відомо, що меншим тривалостям імпульсів відповідає менша шорсткість.

Зона *B* (рис. 2) являє собою сукупність лунок майже правильної гексагональної форми, витягнутих у напрямку руху РР. При цьому, по мірі віддалення від периферії (від зони *A*), з незначним збільшенням розмірів в плані, глибина лунок зменшується до нуля, з їх повним вирожденням в зоні *B*. Єдиними за розмірами об'єктами, спроможними залишити сліди з розмірами ≈ 1 мм, є газові порожнини, які оточують електричні розряди і які, за результатами надшвидкісної фотореєстрації, мають розміри одного порядку з лунками. За різними даними тиск в газових порожнинах може сягати сотен атмосфер [1]. Таким чином, виявлені лунки є результатом багаторазового імпульсного впливу високого тиску в газових порожнинах та високої температури розрядів. Шестигранність лунок пояснюється тим, що, з геометричної точки зору, шестигранник є найпростішою близькою до кола фігурою, яка забезпечує повне покриття поверхні. Видовженість шестигранників пояснюється впливом

динамічного тиску РР на газові порожнини. На рис. 5, а показано схему робочої зони експериментального пристрою для надшвидкісної фотореєстрації дуги між двома плоскими (товщиною 2 мм) електродами в регулюємому за швидкістю потоці РР з застосуванням фотореєстратора СФР. Верхній рухомий електрод – сталевий, а нижній нерухомий – графітовий. Передня та задня стінки пристрою виконані прозорі (з оргскла). На рис. 5, б (частота зйомки – 6400 к/с; сила струму – 20 А; робоча напруга 30 В; статичний тиск РР на вході в МЕР – 1 МПа) видно поперечні розміри розряду та видовженість газової порожнини в напрямку руху РР. При достатньому помпуванні продукти ерозії, що утворилися в зоні А, переважно надходять в зону В. Вони являють собою краплі розплавленого металу. Але, так як вони нагрівалися до температури плавлення при зовнішньому статичному тиску, що дорівнює тиску на вході в МЕР, то по мірі руху в напрямку помпування РР, а отже і в напрямку зменшення зовнішнього статичного тиску (рис. 2, а), для його нового значення вони виявляються перегрітими. Це означає, що така метастабільна металева краплина спроможна вибухнути в просторі МЕР (фазовий вибух) за рахунок утворення в її тілі осередків бурного кипіння. На рис. 3, в стрілками показано продукти ерозії вулканоподібної форми з отворами, що свідчить про викид металу з їх середини в розплавленому та пароподібному станах. На рис. 6, в, г показано результати фотореєстрації дуги з частотою зйомки 9600 к/с, де на першому кадрі показано вибух такої частки в зоні В, а на другому – виникнення дугового розряду на місці вибуху. Таким чином, ініціація розрядів в зоні В відбувається переважно за рахунок фазових вибухів перегрітих продуктів ерозії. Такий механізм ініціації стає можливим при використанні зворотного способу помпування завдяки великому градієнту статичного тиску від входу до виходу з МЕР, який відсутній при ЕІО та при ЕКО.

В зоні В (рис. 2) лунки, що характерні для зони В, вироджуються у плоску поверхню. В цій зоні має місце найменший знос донної поверхні ЕІ. Це означає, що тут, як і в зоні А, поверхня ЕІ незначно термічно навантажена від розрядів та імпульсного навантаження від парогазових порожнин. Ця зона являє собою зону коагуляції розплавлених продуктів ерозії, що надходять з зони В. Тобто, поверхня ЕІ контактує тут переважно з краплинами розплавленого металу, сумарний поперечний переріз яких надто великий, для того, щоб їх спроможна була зруйнувати прикладена сила струму. Те, що напруга обробки не падає нижче 20 В пояснюється значним (у 10 разів і більшим) зростанням питомого опору металів при плавленні і тим, що краплини металу в цій зоні мають багато порожнин. Останнє також сприяє підвищенню електричного опору. Відсутність фазових вибухів пояснюється значно меншим градієнтом тисків в зоні В, ніж в зоні Б, так як величина МЕР тут збільшується в кілька разів.

Виконані експериментальні дослідження розширюють теоретичне уявлення про фізичні особливості ініціювання електричних розрядів при РОД та пояснюють їх відмінність від відомих способів електроерозійної обробки.

Список літератури: 1. Золотых Б. Н. О физической природе электроискровой обработки металлов. – В кн.: Электроискровая обработка металлов. Вып. 1. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. 2. Электрофизическая и электрохимическая обработка материалов: Справочник – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1982. – 400 с., ил. 3. Размерная электрическая обработка металлов: Учеб. пособие для студентов вузов / Б. А. Артамонов, А. Л. Вишницкий, Ю. С. Волков, А. В. Глазков. Под ред. А. В. Глазкова. – М.: Высш. школа, 1978. – 336 с., ил. 4. Носуленко В. І. Розмірна обробка металів електричною дугою: Дисс... д-ра техн. наук: 05.03.07. – Кіровоград, 1998. – 389 с. 5.

Боков В. М. Розмірне формоутворення поверхонь електричною дугою. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий центр ТОВ “Імекс ЛТД”, 2002 – 300 с. **6.** Боков В. М., Гросул І. А. Електрична дуга в умовах гідродинамічного впливу як інструмент для точних технологій. – Машиностроение и техносфера XXI века // Сборник трудов международной научно-технической конференции в г. Севастополе 13-18 сентября 2004 г. В 4-х томах. – Донецк: ДонГТУ. Т.1. – 281 с. **7.** Гросул І. А., Боков В. М. Техніка й технологія чистового розмірного оброблення електричною дугою. – “Машинознавство”, 2002, № 7. **8.** Mesheriakov G. N. Electro-Physical Processes in Electric Pulse Metal Cutting from the point of View of Efficiency and Polarity of Electrode Wear. – Annals of the C.I.R.P. Vol. XVIII pp. 491-499. Printed in Great Britain 1970. **9.** Малюшевский П. П., Городенко Г. Г. Исследование влияния внешнего давления и магнитных полей на электрический разряд в жидкости // Электронная обработка материалов. – 1987. № 4. – С. 33-38. **10.** Остроумов Г. А. Взаимодействие электрических и гидродинамических полей. Физические основы электрогидродинамики. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1979. **11.** Семёнов В. Н., Фотеев Н.К. Воздействие электромагнитного поля на процесс электроконтактной резки // Электронная обработка материалов. – 1983. № 3. – С. 5-10.

Сдано в редакцию 30.05.05

Рекомендовано д.т.н., проф. Бутенко В.И.

РАСЧЕТ УСИЛИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ НЕСООСНОСТИ ВАЛОПРОВОДОВ С ГЛАВНЫМИ МЕХАНИЗМАМИ

Иванов Д.Ю. (НУК, г.Николаев, Украина)

The interdependence of loads arising when joining of non-eccentric shafts with values of their non-eccentricity has been investigated. The calculation method of mentioned loads with consideration of static indeterminability of shafts has been proposed. The formulas for calculation of shafts non-eccentricity values and additional loads on shafts bearings have been given.

Качество центровки главных механизмов с валопроводами, как правило, оценивается по несоосности соединяемых валов. В большинстве случаев предельно допускаемые величины этой несоосности устанавливаются однозначными и сравнительно жесткими, что предполагает максимально возможное исключение взаимного влияния валопровода и вала главного механизма на параметры их укладки; поэтому оценка дополнительных усилий, которые возникают вследствие допущенной при монтаже несоосности, как правило, не выполняется.

Однако, как показали исследования, в одних случаях, при высокой жесткости соединяемых валов, центровка главных механизмов с валопроводом с соблюдением установленных жестких допусков на несоосность не исключает возможности больших дополнительных усилий, которые следовало бы учитывать уже на стадии расчета параметров укладки валопровода; в других случаях, при большой податливости соединяемых валов, эти допуски оказываются неоправданно жесткими, что может вызывать увеличение затрат на центровку и монтаж главных механизмов при постройке судов и, тем более, при их ремонте.