

Nagy. Residual – Stress, Hardness and Chemical – Stability of TiN Coatings // I. of Advanced Materials. 2001, v. 33, is 1, p. 63-68. 4. О снижении остаточных напряжений в вакуум-плазменных покрытиях. Ляшенко Б.А., Рутковский А.В., Сорока Е.Б., Липинская Н.В. // Пробл. прочности, 2001. – № 4. – С. 62-68. 5. Методы испытания и контроля исследования машиностроительных материалов / Под общ. ред. А. Т. Туманова. – М.: Машиностроение, 1974. – Т. 1. – 320 с.

Сдано в редакцию 12.05.06

Рекомендовано д.т.н., проф. Михайлов А.Н.

ДВОШАРОВІ ЕЛЕКТРОДИ-ІНСТРУМЕНТИ ДЛЯ РОЗМІРНОЇ ОБРОБКИ ЕЛЕКТРИЧНОЮ ДУГОЮ ТОРЦЕВИХ ПОВЕРХОНЬ СКЛАДНОГО РЕЛЬЄФУ

Боков В. М. (КНТУ, м. Кіровоград, Україна)

A high-performance method of dimensional arc processing of intricate profile faceplates based on using two-ply tool electrodes is introduced.

В сучасному інструментальному та основному виробництвах при виготовленні порожнин кувальних штампів, прес-форм та оригінальних деталей широко застосовуються методи електроерозійної обробки. Найбільш поширеним з них є електроімпульсна обробка. Вона дозволяє отримати практично будь-яку за формою торцеву поверхню складного рельєфу поза залежністю від механічних властивостей матеріалу, що обробляється [1, с. 66-76]. Електроди-інструменти для електроімпульсної обробки виготовляють із вуглеграфіту або із міді [2, с. 5], причому форма робочої (торцевої) поверхні електрода-інструмента еквідистантна формі торцевої поверхні виробу та відрізняється від останньої в кожній точці на величину міжелектродного зазору. Процес, як відомо, реалізовується при поступальному русі електрода-інструмента, із зануренням робочої зони в рідину-діелектрик та з використанням нестационарних форм електричних розрядів [3, с. 83-85].

В зв'язку з тим, що енергія в зону обробки вводиться дискретно (порціями) та з відносно великими паузами, продуктивність електроімпульсної обробки дуже низька. Крім того, технічні складності отримання електричних імпульсів при силі струму більш 300 А суттєво обмежують потужність введеної енергії в робочу зону, що ще більше обмежує продуктивність обробки.

За роботами [4, 5] відомий високопродуктивний спосіб розмірної обробки металів електричною дугою, в якому енергія вводиться в зону обробки неперервно. Останнє підтверджується осцилограмами сили технологічного струму, який не падає до нуля, та зварювальними випрямлячами постійного струму, що використовуються при реалізації даного способу. Даний спосіб може бути застосований для розмірної обробки поверхонь складного рельєфу при поступальному русі вуглеграфітового електрода-інструмента та нерухомому електроді-заготовки, але обмеженої складності. Це пов'язано з тим, що розмірна обробка даним способом можлива лише тоді, коли на електричну дугу діє потужний гідродинамічний поперечний потік робочої рідини, який стискає дугу як в енергетичному, так і в геометричному плані та інтенсифікує процес видалення продуктів ерозії із зони обробки. Саме для цього робочу рідину в міжелектродному зазорі (тобто там, де горить електрична дуга) прокачують під технологічним тиском, щоб забезпечити певну (вище критичної) швидкість потоку.

Однак, в початковій фазі процесу обробки електричною дугою торцевої поверхні з орієнтованим перпендикулярно радіальному напрямку складним рельєфом, наприклад при обробки V-подібних дрібних зубів муфти моменту, робоча рідина вільно (без опору) прокачується між плоскою поверхнею електрода-заготовки та рельєфною поверхнею електрода-інструмента, тобто тече по лінії найменшого опору, а в міжелектродному зазорі, де саме горить дуга, в зв'язку з великим гідравлічним опором, робоча рідина практично не тече. В наслідок цього, між електродами збуджується звичайна (не стиснута дуга), яка за своїми параметрами наближається до зварювальної, і не може вести розмірну обробку. Міжелектродний зазор швидко шлакується (бо швидкість рідини в зазорі значно нижче критичної), виникають короткі замикання, процес дестабілізується та припиняється.

З метою розширення технологічних можливостей способу розмірної обробки електричною дугою торцевих поверхонь складного рельєфу, запропоновано обробку здійснювати двошаровим електроодом-інструментом оригінальної геометрії.

На рис. 1, як приклад, наведено характерні фази обробки електричною дугою торцевої поверхні з орієнтованим перпендикулярно радіальному напрямку складним рельєфом 1 виробу 2 (обробка дрібних зубів муфти моменту), яку здійснюють двошаровим електроодом-інструментом 3. Останній виготовляють за наступною технологією. Торцеву робочу поверхню 4 внутрішнього шару 5 виконують еквідистантною поверхні виробу 1. Внутрішній шар 5 виготовляють із вуглеграфітового матеріалу марки МПГ-7, що володіє високою електроерозійною стійкістю. Торцеву робочу поверхню 6 зовнішнього шару 7 виконують еквідистантною поверхні електрода-заготовки 8, тобто плоскою. Зовнішній шар 7 виготовляють із матеріалу, який володіє низькою електроерозійною стійкістю, наприклад із сплаву Вуда, свинцю тощо. Закріплення зовнішнього шару на внутрішньому здійснюється шляхом занурення твердого внутрішнього шару в розплав із матеріалу зовнішнього шару до проточок 9, 10 з подальшим його охолодженням. Перед обробкою електрод-заготовку 11 виробу 2 закріплюють нерухомо на плиті 12 електроерозійного верстата, а двошаровий електрод-інструмент 3 – на його шпинделі. Робочу зону верстата закривають герметично камерою 13. Для обробки в камеру нагнітають під технологічним тиском 0,2...2 МПа робочу рідину (як правило органічне середовище) за напрямком від периферії до центру двошарового електрода-інструмента 3. Вмикають постійний технологічний струм і ведуть процес обробки електрода-заготовки 11 електричною дугою 14 з використанням автоматичного регулятора торцевого міжелектродного зазору 15 (на рис. 1 не показано). Завдяки тому, що в початковий момент обробки торцева робоча поверхня 6 зовнішнього шару 5 еквідистантна (в даному випадку паралельна) поверхні 8 електрода-заготовки 11, обробка здійснюється при постійному торцевому міжелектродному зазорі 15. Саме ця умова дозволяє забезпечити оптимальні гідродинамічні умови для горіння електричної дуги 14 у будь-якій точці міжелектродного зазору 15. Зовнішній шар 7 на електроді-інструменті 9, завдяки низькій електроерозійній стійкості, легко та швидко руйнується електричною дугою 14 та поступово вивільняє внутрішній шар 5, який, власне, і відповідає за точність формоутворення поверхні складного рельєфу 1, так як його виготовлено із електроерозійно-стійкого матеріалу. Протягом всього процесу обробки торцевий міжелектродний зазор 15 підтримується постійним, що забезпечує стабільний гідродинамічний режим обробки, а отже, стабільну точність формоутворення складного рельєфу.

Подальше удосконалення способу розмірної обробки електричною дугою торцевих поверхонь складного рельєфу з використанням для формоутворення двошарового електрода-інструмента відбувалося у напрямку забезпечення оптимального

гідродинамічного режиму потоку робочої рідини в торцевому зазорі при обробці торцевої поверхні з підвищеною складністю рельєфу. Представником такої поверхні є глухий отвір або порожнина з значно похилим дном. Останнє пов'язано з тим, що гідродинамічні умови процесу в початковій та кінцевій фазах обробки значно відрізняються. Так, в початковій фазі обробки гідравлічний опір течії робочої рідини в торцевому зазорі як правило симетричний відносно технологічного каналу в електроді-інструменті, в той же час в кінцевій фазі обробки – значно несиметричний. Це приводить до того, що електрична дуга в різних точках торцевого зазору в кінцевій фазі обробки горить в різних гідродинамічних умовах, що визначає різну якість обробленої поверхні. Більш того, коли різниця в швидкостях потоку вийде за критичну межу, процес дестабілізується та може зовсім зупинитися. Крім того, даний спосіб не забезпечує обробку великогабаритних торцевих поверхонь складного рельєфу, так як із підвищенням розміру поверхні підвищується довжина траси евакуації продуктів ерозії із торцевого зазору, продуктивність суттєво падає, а процес затухає.

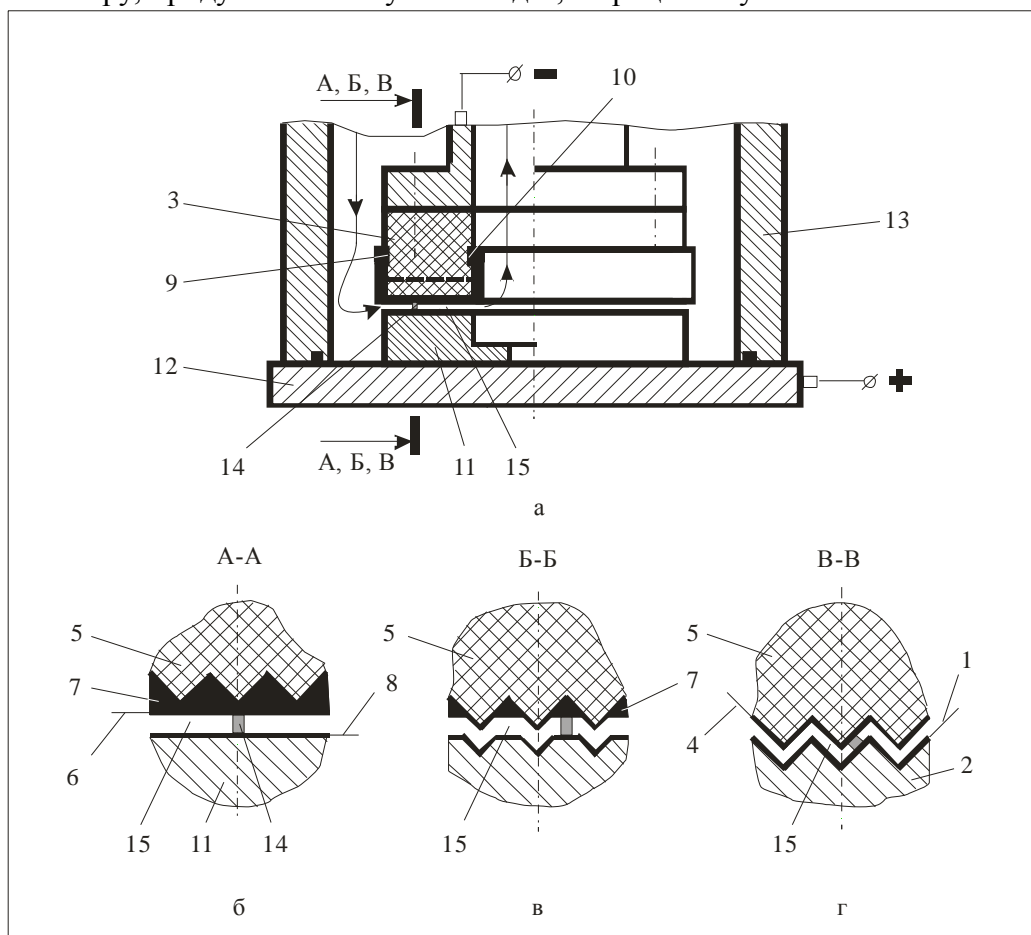


Рис. 1. Фази реалізації способу обробки дугою дрібних зубів муфти моменту з використанням двошарового електрода-інструмента: а - початкова фаза (радіальний переріз); б - початкова фаза (поперечний переріз А-А); в - проміжна фаза (поперечний переріз Б-Б); г - кінцева фаза (поперечний переріз В-В)

З метою усунення вище наведених недоліків, пропонується удосконалити конструкцію двошарового електрода-інструмента так, щоб в процесі обробки робоча рідина разом с продуктами ерозії видалялася із торцевого міжелектродного зазору крізь канал в електроді-інструменті, який розташований так, що принаймні в початковій та кінцевій

фазах обробки, гідравлічний опір течії робочої рідини в міжелектродному зазорі симетричний відносно даного каналу або наближається до симетрії.

Так, розмірну обробку глухого отвору з значно похилим дном (рис. 2) в електроді-заготовці 1, як торцевої поверхні складного рельєфу 2, здійснюють двошаровим електродом-інструментом 3, який виконано за наступною технологією. Торцеву робочу поверхню 4 внутрішнього шару 5 виконують еквідистантною поверхні 2 похилого дна отвору в електроді-заготовці 1. Внутрішній шар 5, як у вище описаному випадку, виготовляють із електроерозійно-стійкого матеріалу, наприклад із вуглеграфітового матеріалу марки МПГ-7. Торцеву робочу поверхню 6 зовнішнього шару 7 виконують еквідистантною поверхні 8 електрода-заготовки 1. Зовнішній шар 7 виготовляють із матеріалу, який володіє низькою електроерозійною стійкістю, наприклад, із сплаву Вуда. Закріплення зовнішнього шару 7 відносно внутрішнього 5 здійснюється шляхом занурення твердого внутрішнього шару 5 в розплав із матеріалу зовнішнього шару до проточок 9, 10 з подальшим його охолодженням. Забезпечення симетричності гідравлічного опору в міжелектродному зазорі відносно каналу 11 в електроді-інструменті 3 на різних фазах обробки досягається умовами:

- для початкової фази:

$$\Delta P_{ex(A)} + \Delta P_{AB} + \Delta P_{n(B)} = \Delta P_{ex(D)} + \Delta P_{CD} + \Delta P_{n(C)}, \quad (1)$$

де $\Delta P_{ex(A)}$, $\Delta P_{ex(D)}$ - гідравлічні опори (або втрати тиску) на вході потоку в торцевий міжелектродний зазор 12 відповідно в точках A та D ;

ΔP_{AB} , ΔP_{CD} - гідравлічні опори (або втрати тиску) в торцевому між-електродному зазорі 12 відповідно на ділянках AB (довжиною l_{AB}) та CD (довжиною l_{CD});

$\Delta P_{n(B)}$, $\Delta P_{n(C)}$ - гідравлічні опори (або втрати тиску) при внутрішньому повороту потоку відповідно в точках B та C .

Але оскільки $\Delta P_{ex(A)} = \Delta P_{ex(D)}$, а $\Delta P_{n(B)} \approx \Delta P_{n(C)}$, то залежність (1) набуде вигляду:

$$\Delta P_{AB} = \Delta P_{CD}; \quad (2)$$

- для кінцевої фази:

$$\begin{aligned} \Delta P_{ex(E)} + \Delta P_{EF} + \Delta P_{n(F)} + \Delta P_{FG} + \Delta P_{n(G)} = \\ = \Delta P_{ex(M)} + \Delta P_{ML} + \Delta P_{n(L)} + \Delta P_{LH} + \Delta P_{n(H)}, \end{aligned} \quad (3)$$

де $\Delta P_{ex(E)}$, $\Delta P_{ex(M)}$ - гідравлічні опори (або втрати тиску) на вході потоку в бічні міжелектродні зазори 13, 14 відповідно в точках E та M ;

ΔP_{EF} , ΔP_{ML} - гідравлічні опори (або втрати тиску) в бічних міжелектродних зазорах 13, 14 відповідно на ділянках EF (довжиною l_{EF}) та ML (довжиною l_{ML});

$\Delta P_{n(F)}$, $\Delta P_{n(L)}$ - гідравлічні опори (або втрати тиску) при зовнішньому повороту потоку відповідно в точках F та L ;

ΔP_{FG} , ΔP_{LH} - гідравлічні опори (або втрати тиску) в торцевому між-електродному зазорі 15 відповідно на ділянках FG (довжиною l_{FG}) та LH (довжиною l_{LH});

$\Delta P_{n(G)}$, $\Delta P_{n(H)}$ - гідравлічні опори (або втрати тиску) при внутрішньому повороту потоку відповідно в точках G та H .

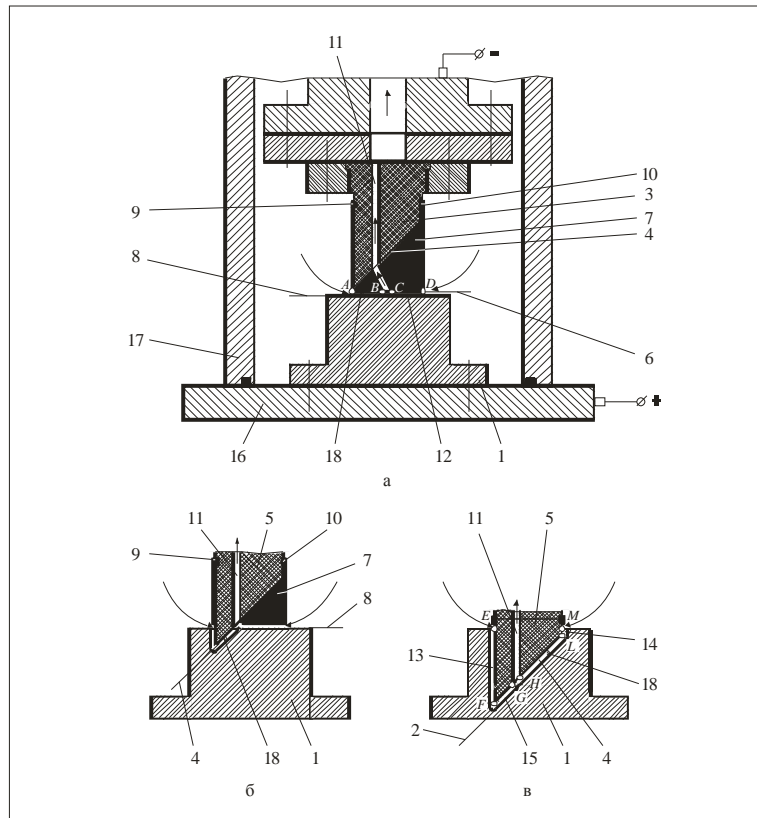


Рис. 2. Фази реалізації способу обробки дугою глухого круглого отвору із значно похилим дном з використанням двошарового електрода-інструмента: а - початкова фаза; б - проміжна фаза; в - кінцева фаза

Оскільки $\Delta P_{ex(E)} = \Delta P_{ex(M)}$, $\Delta P_{n(F)} \approx \Delta P_{n(L)}$, $\Delta P_{n(G)} \approx \Delta P_{n(H)}$, то залежність (3) можна спростити до вигляду:

$$\Delta P_{EF} + \Delta P_{FG} = \Delta P_{ML} + \Delta P_{LH} . \quad (4)$$

Перед обробкою (див. рис. 2) електрод-заготовку 1 закріплюють нерухомо на плиті 16 електроерозійного верстата, а двошаровий електрод-інструмент 3 - на його шпинделі. Робочу зону верстата закривають герметично камерою 17. Для обробки в камеру нагнітають під технологічним тиском робочу рідину (як правило органічне середовище) за напрямком від периферії до центру електрода-інструмента 3. Вмикають постійний технологічний струм і ведуть процес обробки електрода-заготовки 1 електричною дугою 18 з використанням автоматичної системи слідкування (на фігурах не показана) за торцевим міжелектродним зазором 12, 15. При цьому зовнішній шар 7 на електроді-інструменті 3 легко та швидко руйнується електричною дугою 18 та поступово вивільняє внутрішній шар 5, який, власне, і відповідає за точність формоутворення отвору з похилою донною торцевою поверхнею 2, так як його виготовлено із електроерозійно-стійкого матеріалу. Завдяки виконанню умов (2) та (4), при реалізації процесу обробки забезпечується симетричний відносно каналу 11 гідравлічний опір течії робочої рідини в міжелектродному зазорі не тільки в початковій, але й кінцевій фазах обробки, що, в свою чергу забезпечує симетричний відносно каналу 11 в електроді-інструменті 2 потік рідини в даних фазах. Це приводить до того, що електрична дуга 18 в різних точках торцевого зазору в кінцевій фазі обробки горить в оптимальних

гідродинамічних умовах. Останнє визначає задану технологічну якість обробленої поверхні.

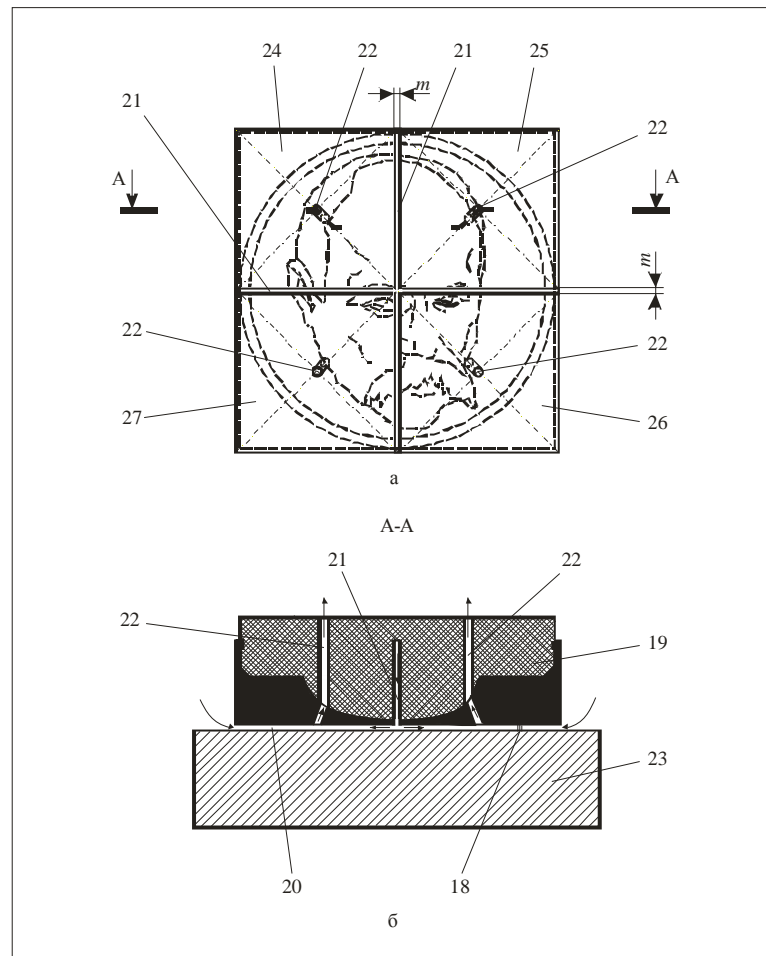


Рис. 3. Розмірна обробка дугою великогабаритної торцевої поверхні складного рельєфу (прес-форми) з використанням багатоканального двошарового електрода-інструмента: а - вид на двошаровий електрод-інструмент знизу; б - початкова фаза обробки

Для забезпечення оптимальних умов обробки електричною дугою великогабаритних торцевих поверхонь складного рельєфу (рис. 3), обробку здійснюють багатоканальним електродом-інструментом 19, з подачею робочої рідини в торцевий зазор 20 крізь щілини 21 в електроді-інструменті 19, які розділяють канали 22 та утворюють зони прокачування (гідродинамічні модулі). При обробці заготовки 23 налічується чотири зони прокачування: 24, 25, 26, 27. Кожна зона має зовнішній замкнутий контур нагнітання рідини в торцевий зазор: бічний міжелектродний зазор та щілини 21, а також внутрішній замкнутий контур видалення рідини з торцевого зазору: канал 22 в електроді-інструменті 19. Збільшення кількості зон прокачування при обробці великогабаритної порожнини суттєво зменшує довжину траси евакуації продуктів ерозії із торцевого міжелектродного зазору, тобто там, де збуджуються електричні дуги, внаслідок чого зменшується частка продуктів ерозії, що підлягає вторинному диспергуванню. Останнє сприяє підвищенню продуктивності обробки, зменшенню питомої витрати електроенергії та суттєво розширює технологічні можливості процесу в плані підвищення габаритних розмірів торцевих поверхонь складного рельєфу, що обробляються.

Слід відмітити, що, для запобігання утворення технологічного виступу, ширину m щілини 21 на електроді-інструменті 19 виконують із наступної умови:

$$m \leq 2\delta_{\sigma},$$

де δ_{σ} – бічний міжелектродний зазор (на рис. 3 не показано). Звичайно $\delta_{\sigma} = 0,10 \dots 0,20$ мм.

Пропонуємо спосіб розмірної обробки електричною дугою торцевих поверхонь складного рельєфу, який базується на використанні двошарових електродів-інструментів, порівняно з відомим, розширює його технологічні можливості та дозволяє: суттєво підвищити складність рельєфу, якість обробки та габаритні розміри торцевих поверхонь, що обробляються; підвищити продуктивність обробки великогабаритних торцевих поверхонь на 40...50 % при зменшенні питомої витрати електроенергії на 20...30 %.

Список літератури: 1. Электроэрозионная и электрохимическая обработка. Расчет, проектирование, изготовление и применение электродов-инструментов. Часть 1 / Под ред. А. Л. Лившица, А. Роша. – М.: НИИМАШ, 1980. – 224 с. 2. Материалы и методы для изготовления фасонных электродов-инструментов электроэрозионных копировально-прошивочных станков // М. Л. Левит, О. В. Падалко. – М.: ЭНИМС, 1975. – 143 с. 3. Артамонов Б. А., Волков Ю. С., Дрожалова В. И. и др. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. Учеб. пособие (в 2-х томах). Т. 1. Обработка материалов с применением инструмента / Под ред. В. П. Смоленцева. – М.: Высш. шк., 1983. – 247 с., ил. 4. Носуленко В. І. Розмірна обробка металів електричною дугою: Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.03.07 / НТУУ «КПІ». – Київ, 1999. – 36 с. 5. Боков В. М. Розмірне формоутворення поверхонь електричною дугою. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий центр ТОВ «Імекс-ЛТД», 2002 – 300 с.

Сдано в редакцию 26.05.06

Рекомендовано д.т.н., проф. Михайлов А.Н.

О ТЕКСТУРИРОВАНИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ МАТЕРИАЛОВ ПРИ МАКРОПРИРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ТОКА И ЭЛЕКТРОЛИТОВ

Болдарь Л.Н. (ЛНАУ, г. Луганск, Украина)

The Explored influence of the electric current and electrolyte on shaping the initial contact between detail. The Undertaken attempt of the explanation of the construction of the surface layers material from fluid phase after their electrophysical and electrochemical of the interaction.

Состояние вопроса. Известно, что на поддержание работоспособности д.в.с., выработавших свой ресурс, расходуется много труда и средств [1]. В последнее время, в странах СНГ предпринимаются попытки дать таким двигателям вторую «жизнь» за счет наращивания изношенных деталей специальными присадками, которые добавляются к маслам [2]. При этом двигатели не разбираются для дефектации деталей и последующего ремонта. Однако, восстановить исходное качество деталей такими мерами невозможно потому, что в процессе износа они теряют не только форму, но и многие