



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **114671** (13) **C2**

(51) МПК (2017.01)

F16J 15/16 (2006.01)

F16J 15/34 (2006.01)

B23H 9/00

C23C 28/00

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(21) Номер заявки:	а 2015 12459	(72) Винахідник(и):	Тарельник В'ячеслав Борисович (UA), Марцинковський Василь Сігізмундович (UA), Білоус Андрій Валерійович (UA), Жуков Олексій Миколайович (UA)
(22) Дата подання заявки:	16.12.2015	(73) Власник(и):	Марцинковський Василь Сігізмундович, вул. Березова, 2, сел. Сад, Сумський р-н, Сумська обл., 42343 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід:	10.07.2017	(74) Представник:	Лісна Тетяна Леонідівна, реєстр. №286
(41) Публікація відомостей про заявку:	26.06.2017, Бюл.№ 12	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:	Тарельник В.Б. Электроэрозионное легирование – метод восстановления деталей роторных машин / В.Б.Тарельник, Н.В.Захаров, В.С.Марцинковский, Б.Антошевский // Вісник СумДУ. - 2005. - №1(73). - С.25-31 Тарельник В.Б. Способ повышения качества стальных деталей, цементированных электроэрозионным легированием / В.Б.Тарельник, В.С.Марцинковский, М.П.Братушак // Компрессорное и энергетическое машиностроение. -2011. - №1(23). - С.50-54 Білоус А.В. Забезпечення якості робочих поверхонь деталей відцентрових компресорів із застосуванням інтегрованих технологій: автореф.дис.канд.техн.наук: 05.02.08/ А.В.Білоус; НТУ «Харківський політехнічний інститут». -Х., 2011. -14 с. UA 101715 C2, 25.04.2013 UA 82948 C2, 26.05.2008 UA 104664 C2, 25.02.2014 UA 73555 U, 25.09.2012 RU 2367724 C1, 20.09.2009 RU 2524471 C2, 27.07.2014 WO 2008/014801 A1, 07.02.2008 EP 0192880 A1, 03.09.1986 GB 1445626 A, 11.08.1976 SU 1734968 A1, 23.05.1992 SU 446695 A1, 15.10.1974
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	10.07.2017, Бюл.№ 13		

(54) СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ СТАЛЕВИХ КІЛЕЦЬ ІМПУЛЬСНИХ ТОРЦЕВИХ УЩІЛЬНЕНЬ

(57) Реферат:

Технічне рішення належить до області електрофізичної та електрохімічної обробки, зокрема до електроерозійного легування, і може застосовуватися для обробки поверхонь елементів імпульсних торцевих ущільнень (ІТУ).

UA 114671 C2

Спосіб підвищення зносостійкості робочих поверхонь сталевих кілець імпульсних торцевих ущільнень (ІТУ) включає нанесення на них квазібагатошарових комбінованих електроерозійних покриттів (КЕП) складу, сформованого в послідовності ВК8+Си+ВК8, при цьому перед нанесенням КЕП робочі поверхні обробляють методом електроерозійного легування графітовим електродом (ЦЕЕЛ) при енергії розряду в діапазоні 0,036...4,6 Дж, причому, товщину шару підвищеної твердості збільшують на товщину шару ЦЕЕЛ. Крім того, при утворенні КЕП перший і останній шари з твердого сплаву ВК8 наносять при енергії розряду $W_u=0,1$ Дж, а мідь при $W_u=0,04$ Дж.

Поліпшено параметри робочих поверхонь сталевих кілець імпульсних ущільнень, що впливають на їх зносостійкість.

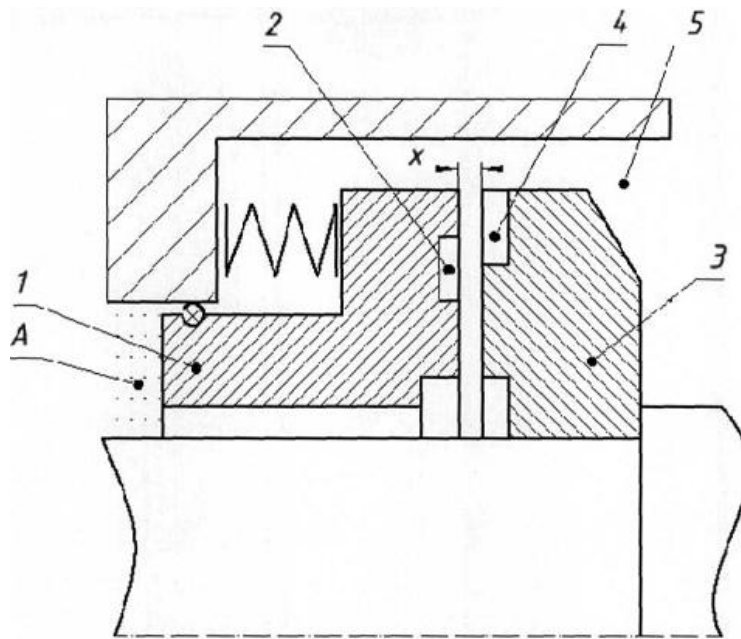


Fig. 1

Технічне рішення належить до області електрофізичної та електрохімічної обробки, зокрема до електроерозійного легування, і може застосовуватися для обробки поверхонь елементів імпульсних торцевих ущільнень (ІТУ).

Відомі ІТУ з імпульсним урівноваженням аксіально рухомого елемента [Торцовое уплотнение с регулируемой утечкой: А.с. 446695 СССР, МКИ 23Р 1/12(МПК:F16J15/34)/ К.В. Лисицын, В.А. Марцинковский, Н.В. Периерий (СССР). - № 1827549/25-8; Заявлено 11.09.72; Опубл. 22.06.74, Бюл. № 1. - 2 с.].

Традиційна конструктивна схема ІТУ показана на фіг. 1. На робочій поверхні аксіально рухомого кільця 1 розташовані замкнуті камери 2, а на поверхні опорного диска 3 передбачено кілька підвідних каналів 4, які при обертанні упорного кільця послідовно з'єднують камери 2 з ущільнюваною порожниною А.

Принцип дії імпульсного ущільнення базується на тому, що при обертанні ротора підвідні канали 4 періодично сполучають камери з порожниною високого тиску 5, внаслідок чого в них відбуваються сплески тиску (імпульси), що спричинюють зміну балансу осьових сил.

Сили діють на аксіально рухоме кільце, внаслідок чого ущільнювальні поверхні торцевої пари розділяються тонким шаром робочого середовища, при цьому його товщина залежить від розмірів камер і підвідних каналів.

ІТУ відносяться до типу саморегулювальних ущільнень, в яких величина торцевого зазору витримується автоматично. Саморегулювання зазору засноване на тому, що тиск в кожній з камер 2, усереднений за період між послідовними вприскуваннями ущільнюваного середовища, тим більше, чим менше торцевий зазор і чим більше частота обертання ротора. Збільшення торцевого зазору призводить до зменшення усередненого тиску в даних камерах і до порушення балансу сил, що діють на аксіально-рухливий елемент. В результаті цього, кільце переміщується у бік опорного диска, а торцевий зазор зменшується до тих пір, поки тиск не зросте настільки, щоб відновити рівновагу осьових сил. У разі відсутності обертання ротора і наявності тиску ущільнюваного середовища торцевий зазор закривається, а ущільнення працює як стоянкове.

Характерною особливістю ІТУ є те, що мікрозазори в парі тертя досягаються за рахунок макрогеометрії торцевих поясів, тобто розміри (ширина, глибина і довжина) камер і підвідних каналів обчислюються в міліметрах і в багато разів перевершують розміри зазору. При цьому зміна розмірів камер і підвідних каналів в результаті ерозійного або абразивного зносу істотно не впливає на величину зазору і, отже, на витоки.

Традиційно кільця ІТУ виготовлялися із силіцированого графіту, що накладало певні обмеження на область їх застосування, швидкість ковзання і величину ущільнюваного тиску. Дані матеріали є дорогими, мають низьку ударну міцність, схильні до розтріскування під дією силових і теплових навантажень [Торцевые уплотнения аппаратов химических производств / Г.В. Антипин, М.Т. Банников, А.Д. Домашнев и др. - М.: Машиностроение, 1984. - 112 с.].

У деяких агресивних середовищах, де застосування в роз'ємних з'єднаннях ущільнень з неметалічних матеріалів є обмеженим або неможливим, застосовують металеві ущільнення.

Надійність і довговічність ІТУ залежить від величини зазору між поверхнями тертя і від паралельності поверхонь торцевої пари.

Зазор між парами тертя залежить від великої кількості факторів: умов експлуатації (частоти обертання і перепаду тиску), величини підтискування, теплофізичних властивостей ущільнюваної рідини, характеристик матеріалу, геометрії ущільнювальних кілець, силових і температурних деформацій.

Розширення області застосування імпульсних ущільнень у бік підвищення режимних параметрів викликало необхідність створення нових, композиційних матеріалів типу "основа - покриття", що поєднують захисні властивості покриттів з механічною міцністю основи.

Відомий спосіб електроерозійного легування (ЕЕЛ), все більш широко застосовуваний у промисловості для поліпшення зносостійкості і твердості поверхонь деталей машин, у тому числі і працюючих в умовах високих температур і агресивних середовищ, для підвищення жаро- і корозійної стійкості, а також для відновлення зношених поверхонь деталей машин при ремонті та ін.

ЕЕЛ поверхні - це процес перенесення матеріалу на оброблювану поверхню іскровим електричним розрядом. Метод має ряд специфічних особливостей:

- матеріал анода (легуєчий матеріал) може утворювати на поверхні катода (легований поверхні) надзвичайно міцно зчеплений з поверхнею шар покриття. У цьому випадку не тільки відсутня межа розділу між нанесеним матеріалом і металом основи, але навіть відбувається дифузія елементів анода в катод;

- процес легування може відбуватися так, що матеріал анода не утворює покриття на поверхні катода, а дифузійно збагачує цю поверхню своїми складовими елементами;
 - легування можна здійснювати в строго зазначених місцях (радіусом від часток міліметра і більше), не захищаючи при цьому решту поверхні деталі;

5 - технологія електроерозійного легування металевих поверхонь дуже проста, а необхідна апаратура малогабаритна і транспортабельна [Назаренко Н.И. Электроискровое легирование металлических поверхностей. - М.: Машиностроение, 1976. - с. 3, 4].

Однією з переваг методу ЕЕЛ є можливість в широких діапазонах змінювати механічні, термічні, електричні, термостійкісні та інші властивості робочих поверхонь деталей [Электроискровое легирование металлических поверхностей / Гитлевич А.Е., Михайлов В.В., Парканский Н.Я., Ревутский В.М./ Кишинев: Штинца, 1985. - 196 с.]. Завдяки цьому, можна забезпечити працездатність ущільнення в середовищах з високою корозійною і хімічною активністю.

Перспективним шляхом підвищення зносостійкості кілець ІТУ є формування на робочих торцевих поверхнях методом ЕЕЛ квазібагатошарових покриттів, що поєднують в собі змащувальні та антизносні властивості. Такими покриттями є комбіновані електроерозійні покриття (КЕП), що поєднують у собі тверді зносостійкі і м'які антифрикційні матеріали.

За способом ЕЕЛ з метою підвищення зносостійкості і зменшення шорсткості поверхні, спочатку наносять шар покриття антифрикційним легкоплавким металом, обраним з групи In, Cd, Sn, Pb, а потім шар покриття із зносостійкого високотвердого металу, вибраного з групи Ti, V, W та їх карбідів. При цьому різко знижується шорсткість поверхні до $Ra=0,54-0,91$ мкм. Одночасно підвищується зносостійкість. Проте досвід показав, що, незважаючи на підвищення зносостійкості, мікротвердість таких покриттів недостатньо висока. Тому було запропоновано спосіб ЕЕЛ, направлений на вирішення задачі підвищення мікротвердості і зносостійкості поверхні зміцнюваних деталей. Поставлена задача вирішувалася тим, що спочатку наносили шар покриття антифрикційним металом міддю, а потім шар із зносостійкого високотвердого металу або його карбиду, обраного з групи Ti, V, W [А. с. 1734968 СССР, В 23 Н 9/00. Способ электроэрозионного легирования / В.Б. Тарельник, Е.А. Коломыцев, Л.А. Иванов, А.Г. Марченко, В.И. Тарадонов, В.Ф. Руденко, Ю.А. Серобабин, Г.Н. Анисимов. - опубл. 23.05.92. Бюл. № 19].

Металографічні дослідження шарів ЕЕЛ покриттів, сформованих за вказаним способом на сталі 45, свідчать про те, що їх мікротвердість знаходиться на порівняно високому рівні (8400-12300 МПа). Причому, на покритті присутня плівка товщиною 1-3 мкм. Усі покриття, сформовані таким способом, мають характерний жовтий колір. Наявність міді як на поверхні, так і по всій товщині покриття підтверджується рентгеноструктурним аналізом [Захаров Н.В., Тарельник В.Б. Исследование закономерностей формирования электроэрозионных покрытий с подслоем из меди // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. Вып. 58.1999. С. 69-74]. Однак, слід зазначити, що товщина таких покриттів невелика і складає 15-20 мкм, а суцільність - менше 100 %.

Для збільшення товщини і суцільності покриття були запропоновані квазібагатошарові електроерозійні покриття (КЕП), що формуються в послідовності $ВК8+Cu+ВК8$.

Найбільш доцільним є КЕП, у якому перший і останній шари з твердого сплаву ВК8 наносять при $W_u=0,2$ Дж, а мідь - при $W_u=0,08$ Дж. У цьому випадку товщина зміцненого шару збільшується до 30-40 мкм, мікротвердість знаходиться на рівні 8740 МПа, а суцільність становить 100 % [Тарельник В.Б. Разработка технологии повышения качества поверхностных слоев импульсных торцовых уплотнений, работающих в различных средах, методом электроэрозионного легирования // Электронная обработка материалов. - 2000.- № 4. - С. 7-11. (прототип)].

Проте товщина покриття 30-40 мкм також недостатня для більшості кілець торцевих ущільнень. Згідно з [Мельник В.А. Торцевые уплотнения валов: справочник. - М.: Машиностроение, 2008. - С. 60], для зниження ціни ущільнень доцільно виготовляти кільця пари тертя з дешевих металів і при цьому виконувати антифрикційне зносостійке покриття поверхонь, що труться. Покриття виконують плазмовим напиленням порошків з оксидів алюмінію або хрому, карбідів вольфраму або хрому. Товщина таких покриттів складає, зазвичай, десяті частки міліметра. Крім напилення, покриття кілець виконують гальванічним способом або термообробкою: хромуванням, оксидуванням, азотуванням та ін. При цьому карбід вольфраму з кобальтом як зв'язка має обмежене застосування, в основному для середовищ, що містять абразиви. Кобальт має низьку хімічну стійкість, він розчиняється навіть у дистильованій воді, тому його не можна застосовувати в апаратах харчової промисловості. Кобальтове зв'язування кілець з карбідів вольфраму піддається сильній корозії в морській воді

[Мельник В.А. Торцевые уплотнения валов: справочник. - М.: Машиностроение, 2008. - С. 59].
Причому, наявність у покритті навіть незначної кількості (до 8 %) кобальту за певних умов може негативно позначитися на його зносостійкості.

Таким чином, технічною задачею, на яку спрямовано даний винахід, є поліпшення параметрів робочих поверхонь сталевих кілець імпульсних ущільнень, що впливають на їх зносостійкість.

Для вирішення зазначеної технічної задачі створено спосіб підвищення зносостійкості робочих поверхонь сталевих кілець імпульсних торцевих ущільнень, що включає, як і прототип, нанесення на них квазібагатошарових комбінованих електроерозійних покриттів (КЕП) складу, що формується у послідовності ВК8+Cu+ВК8, при якому шари КЕП наносять при знижених показниках енергії розряду, а перед нанесенням КЕП робочі поверхні обробляють методом електроерозійного легування графітовим електродом (ЦЕЕЛ), застосовуючи енергію розряду в діапазоні 0,036...4,6 Дж, при цьому товщину шару підвищеної твердості збільшують на товщину шару ЦЕЕЛ. Причому, ЦЕЕЛ можуть проводити при варіюванні розряду в діапазоні 0,036...1,41 Дж без додаткової обробки, при варіюванні розряду в діапазоні 1,41...2,83 Дж з додатковою обробкою методом безабразивної ультразвукової фінішної обробки (БУФО), а також при варіюванні розряду в діапазоні 2,83...4,60 Дж з додатковою обробкою методом БУФО і шліфуванням. Крім того, перший і останній шари з твердого сплаву ВК8 можуть наносити при енергії розряду $W_u=0,1$, а мідь - при $W_u=0,04$ Дж.

Застосування методу ЦЕЕЛ, коли при ЕЕЛ як електрод використовують графіт (вуглець), забезпечує:

- досягнення 100 % суцільності зміцнення поверхневого шару;
- підвищення твердості поверхневого шару деталі за рахунок дифузійно-гартівних процесів;
- легування можна здійснювати в строго зазначених місцях, не захищаючи при цьому решту

поверхні деталі;

- відсутність об'ємного нагріву деталі, а отже повідець і викривлення [Патент України на винахід № 82948, 23С 8/00. Спосіб цементації сталевих деталей електроерозійним легуванням/ В.С. Марцинковский, В.Б.Тарельник, А.В. Белоус / Опубл. 25.03.2008, бюл. № 10].

Застосування способу, що заявляється, дозволяє, варіюючи розряд при здійсненні операції ЦЕЕЛ в діапазоні 0,036...6,8 Дж, формувати шари робочих поверхонь сталевих кілець імпульсних торцевих ущільнень підвищеної твердості товщиною від 4-5 мкм до 320-350 мкм.

Опис винаходу викладено з посиланнями на креслення, де:

- на фіг. 1 представлена схема імпульсного торцевого ущільнення;
- на фіг. 2 показаний ескіз зразка для відпрацювання технології ЦЕЕЛ: 1, 3 - робочі поверхні зразка; 2, 4 - технологічні поверхні зразка;
- на фіг. 3 показана схема застосування інтегрованих технологій для кожного зразка: 1 - ЦЕЕЛ+БУФО; 2 - ЦЕЕЛ+БУФО+ШЛ; 3 - ЦЕЕЛ+ШЛ; 4 - ЦЕЕЛ.

Далі наведено приклади конкретного застосування способу на прикладі різних матеріалів: армко-заліза, сталі 12Х18Н10Т, сталей 30Х13 і 40Х.

Для дослідження структури і виміру твердості поверхневого шару використовували шліфи зразків розміром 10×10×8 після ЕЦ протягом 1, 5, 10 хв. Легування відбувалося на різних режимах на установці з ручним вібратором "Элитрон-52А" і механізованій установці "ЭИЛ-9" в діапазоні енергій розряду (W_p) від 0,5 до 6,8 Дж.

Поверхня шліфа була орієнтована перпендикулярно до поверхні легування. Перед виготовленням шліфа для виключення крайового ефекту при легуванні торців зразка фрезерували на глибину не менше 2 мм. Для попередження зминання шару, завалів краю зразок кріпили за контртіло в струбціні. Далі шліф піддавався хімічному травленню для виявлення структури в реактиві.

Після виготовлення шліфи досліджували на оптичному мікроскопі "Неофот-2", де проводилася оцінка якості шару, його суцільності, товщини і будови зон підшару - дифузійної зони і зони термічного впливу. Одночасно проводився дюрOMETричний аналіз на розподіл мікротвердості в поверхневому шарові і по глибині шліфа від поверхні. Замір мікротвердості проводили на Мікротвердомірі ПМТ-3 вдавленням алмазної піраміди під навантаженням 0,05 Н.

Шорсткість вимірювали на приладі профілографі-профілометрі мод. 201 заводу "Калібр" шляхом зняття та обробки профілограм.

Нижче в таблицях 1-4 представлені результати проведених досліджень.

Таблиця 1

Результати дослідження зразків із сталі 12X18H10T

№ зразка	Енергія розряду W_p , Дж	Час легування, хв.	Загальна глибина шару, мкм	Мікротвердість, HV	Шорсткість, Ra, мкм
4	0,5	1	30	950	0,8-0,9
53	1,41		71	900	1,0-1,6
52	2,83		96	840	5,5-6,3
54	3,4		101	870	8,3-8,5
51	6,8		115	900	11,9-14
11	0,5	5	48	1013	0,9-1,0
57	1,41		134	1101	1,2-1,7
56	2,83		200	974	5,8-6,7
50	3,4		210	960	8,6-8,8
55	6,8		250	1100	11,9-14,1
71	0,5	10	51	1006	0,9-1,1
72	1,41		145	995	1,4-1,9
73	2,83		220	930	5,8-6,9
74	3,4		230	1001	8,6-9,1
75	6,8		275	1050	12,3-15

Таблиця 2

Результати дослідження зразків із сталі 40X

№ зразка	Енергія розряду W_p , Дж	Час легування, хв.	Загальна глибина шару, мкм	Мікротвердість, HV	Шорсткість, Ra, мкм
28	0,5	1	35	950	0,8-0,9
58/1	1,41		146	900	1,0-1,6
59	2,83		215	980	5,5-6,3
60	3,4		230	960	8,3-8,5
61	6,8		270	1010	11,9-14
35	0,5	5	50	987	0,8-0,9
62/1	1,41		377	993	1,1-1,7
63	2,83		658	1001	5,6-6,5
64	3,4		722	997	8,7-8,9
65	6,8		910	1050	11,9-14,1
66	0,5	10	55	1002	0,9-1,0
67	1,41		424	989	1,2-1,8
68	2,83		757	1100	5,7-6,8
69	3,4		833	1050	8,5-9,0
70	6,8		1060	1001	12,1-14,3

Таблица 3

Результати дослідження зразків із армо-заліза

№ зразка	Енергія розряду W_p , Дж	Час легування, хв.	Загальна глибина шару, мкм	Мікротвердість, HV	Шорсткість, Ra, мкм
91	0,5	1	30	950	0,8-0,9
80	1,41		71	900	1,0-1,6
81	2,83		96	840	5,5-6,3
82	3,4		101	870	8,3-8,5
83	6,8		115	900	11,9-14
83/1	0,5	5	37	985	0,9-1,0
84	1,41		163	970	1,2-1,6
85	2,83		245	1002	5,7-6,7
86	3,4		262	1006	8,6-8,9
86/1	6,8		310	1070	11,9-14,1
86/2	0,5	10	38	991	0,9-1,1
87	1,41		173	1006	1,5-1,9
88	2,83		261	1050	5,7-6,9
89	3,4		281	959	8,7-9,1
90	6,8		333	1040	12,4-15

Таблица 4

Результати дослідження зразків із сталі 30X13

№ зразка	Енергія розряду W_p , Дж	Час легування, хв.	Загальна глибина шару, мкм	Мікротвердість, HV	Шорсткість, Ra, мкм
70	0,5	1	34	1050	0,8-0,9
110	1,41		134	978	1,1-1,5
111	2,83		196	909	5,8-6,3
112	3,4		209	1072	8,0-8,5
113	6,8		245	1027	11,9-14
76	0,5	5	48	1020	0,8-1,0
114	1,41		358	1005	1,2-1,7
115	2,83		623	1100	5,9-6,7
116	3,4		684	993	8,7-8,8
117	6,8		860	1000	11,9-14,1
78	0,5	10	50	995	0,9-1,1
118	1,41		405	1002	1,4-1,8
119	2,83		720	1040	5,8-6,8
120	3,4		795	1080	8,6-9,0
121	6,8		1006	1100	12,3-14,9

Незалежно від досліджуваного матеріалу, шорсткість поверхні зростає з підвищенням енергії розряду (див. таблиці 1-4). Крім того, в таблицях представлені дані про загальну глибину зміцненого шару і максимальної мікротвердості на поверхні досліджуваних зразків у залежності від енергії розряду. Зі збільшенням енергії розряду збільшується глибина зміцненого шару. Незалежно від досліджуваного матеріалу і режиму ЦЕЕЛ мікротвердість зміцненого шару, максимальна на поверхні, у міру поглиблення плавно знижується і переходить в мікротвердість підкладки.

Слід зазначити, що суцільність зміцненого шару на усіх досліджуваних зразках становить 100 %.

Відомо, що під час ЕЕЛ для формування якісних покриттів вихідна шорсткість поверхні не повинна перевищувати $Rz < 6,3$ мкм, що відповідає $Ra \approx 1,2$ мкм [Лазаренко Н.И. Электроискровое легирование металлических поверхностей. - М.: Машиностроение, 1976. - с. 16]. Саме тому

ЦЕЕЛ як попередню операцію, згідно з запропонованим способом, можна здійснювати без додаткової обробки тільки лише при енергії розряду в діапазоні 0,036...1,4 Дж.

В монографії [Цементация электроэрозионным легированием: монография / Тарельник В.Б., Антошевский Б, Марцинковский В.С. и др.; под ред. проф. В.Б. Тарельника. - Сумы: Университетская книга, 2015. - С. 116-120] наведені результати дослідження впливу технологій, інтегрованих з ЦЕЕЛ, на якісні параметри поверхневого шару.

На якість формованого поверхневого шару впливають різні параметри: технологічні режими устаткування, матеріали основи і електродного матеріалу, час обробки і т.п. У свою чергу, вищевказані фактори визначають такі якісні параметри поверхневого шару, як мікротвердість, глибина зміцненого шару, шорсткість поверхні. Однак, для отримання необхідних параметрів точності робочої поверхні, параметра шорсткості необхідно застосовувати додаткові методи обробки, за які розглядаються два методи фінішної обробки: шліфування (ШЛ) і ультразвукова обробка (УО) методом БУФО.

Обробку БУФО здійснювали на базі токарно-гвинторізного верстата 16К20 із застосуванням магнітострикційного перетворювача ПМС-39 і ультразвукового генератора УЗУ-030, технічна характеристика якого наведена в Таблиці 5.

ЦЕЕЛ проводили на установках "ЭИЛ-8А" і "ЭИЛ-9" при енергіях розряду 0,6; 2,6 і 4,6 Дж. Режим установки 6,8 Дж не застосовували через великі показники шорсткості поверхні.

Таблица 5

Технічна характеристика ультразвукового генератора УЗУ-030

Найменування параметра	Вихідне значення
Живлення від мережі змінного струму з номінальною напругою, В	220±10 %
Потужність що споживається, Вт	300
Форма вихідного сигналу	прямокутна
Вихідна потужність, Вт	500
Робоча частота, кГц	18,6
Амплітуда коливань УЗ хвилеводу, мкм	10
Габаритні розміри, мм	400×450×280
Маса, кг	25,4

20

Для дослідження якісних параметрів поверхневого шару були виготовлені зразки, показані на фіг. 2. Подальша обробка зразків проводилася за схемою, наведеною на фіг. 3.

Дослідження якісних параметрів поверхневого шару зразків проводилися на оптичному мікроскопі "Неофот-21". Для оцінки якості шару, його суцільності, глибини зміцненого шару виготовлялися шліфи. Шліф виготовлявся із зразка, зображеного на Фіг. 3, за допомогою вирізування з усього зразка ділянок Ø16 мм х 10 мм.

Вимірювання мікротвердості проводили на Мікротвердомірі ПМТ-3 шляхом вдавнення алмазної піраміди під навантаженням 0,05 Н.

Шорсткість вимірювали на приладі профілографі-профілометрі мод. 201 заводу "Калібр" шляхом зняття та обробки профілограм.

Результати досліджень якісних параметрів поверхні зразків наведені в таблицях 6-8.

Таблица 6

Якісні параметри зразків після ЦЕЕЛ

Енергія розряду, Дж	Час легування, хв.	Загальна глибина шару, мкм	Мікротвердість, HV	Шорсткість Ra, мкм
Сталь 40X				
0,6	5	50	987	0,8-0,9
2,83		658	1000	5,6-6,5
4,6		910	1050	11,9-14,1
Сталь 12X18H10T				
0,6	5	48	1013	0,9-1,0
2,83		200	974	5,8-6,7
4.6		250	1100	10.0-14.5

Таблиця 7

Якісні параметри поверхонь зразків із сталі 40X при застосуванні інтегрованих технологій

Енергія розряду, Дж	Метод обробки зразка	Глибина ЦЕЕЛ шару, мкм	Мікротвердість, HV	Шорсткість Ra, мкм
0,6	ЦЕЕЛ+УО	50	980	0,2
	ЦЕЕЛ+УО+ШЛ	40	920	0,6
	ЦЕЕЛ+ШЛ	10	780	0,6
	ЦЕЕЛ	50	987	0,8-0,9
2,83	ЦЕЕЛ+УО	657	920	0,8
	ЦЕЕЛ+УО+ШЛ	635	895	0,8
	ЕЦ+ШЛ	580	770	0,8
	ЕЦ	658	1000	5,6-6,5
4,6	ЕЦ+УО	908	854	0,8
	ЦЕЕЛ+УО+ШЛ	895	840	0,8
	ЦЕЕЛ+ШЛ	856	824	0,8
	ЕЦ	910	1050	11,9-14,1

Таблиця 8

Якісні параметри поверхонь зразків із сталі 12X18H10T при використанні інтегрованих технологій

Енергія розряду, Дж	Метод обробки зразка	Глибина ЦЕЕЛ шару, мкм	Мікротвердість, HV	Шорсткість Ra, мкм
0,6	ЦЕЕЛ+УО	50	880	0,2
	ЦЕЕЛ+УО+ШЛ	48	841	0,6
	ЦЕЕЛ+ШЛ	18	723	0,6
	ЦЕЕЛ	48	1013	0,9-1,0
2,83	ЦЕЕЛ+УО	210	970	0,8
	ЦЕЕЛ+УО+ШЛ	195	950	0,8
	ЦЕЕЛ+ШЛ	130	790	0,8
	ЦЕЕЛ	200	974	5,8-6,7
4,6	ЦЕЕЛ+УО	244	985	0,8
	ЦЕЕЛ+УО+ШЛ	220	875	0,8
	ЦЕЕЛ+ШЛ	110	670	0,8
	ЦЕЕЛ	250	1100	10,0-14,5

Таким чином, перед нанесенням методом ЕЛ покриття складу ВК8+Сu+ВК8 доцільно проводити ЦЕЕЛ при наступних енергіях розряду:

- до 1,41 Дж - без додаткової обробки;
- до 2,83 Дж з додатковою обробкою методом БУФО;
- до 4,6 Дж з додатковою обробкою методом БУФО і шліфуванням.

При енергії розряду більше 4,6 Дж ЦЕЕЛ проводити небажано через погіршення якості поверхні, а саме високу шорсткість, недостатню суцільність обробленої поверхні і т. п., а також через швидке руйнування електрода.

З метою поліпшення якісних характеристик формованих поверхневих шарів, досліджувалися квазібагатошарові КЕП, сформовані за схемою ВК8+Сu+ВК8. Покриття наносили на зразки зі сталі 40X, які піддавалися ЦЕЕЛ при енергії розряду $W_u=0,6$ Дж.

Шорсткість сформованого шару при ЕЕЛ у значній мірі залежить від величини вихідної шорсткості поверхні, причому, чим вище вихідна шорсткість, тим вище кінцева. Враховуючи те, що після ЦЕЕЛ шорсткість поверхні зразків підвищується і становить $Ra=0,8-0,9$ мкм, а також те, що при впливі на ЦЕЕЛ шар в зоні термічного впливу може відбутися відпустка, що призведе до негативних наслідків (зниження мікротвердості і товщини зміцненого шару), перший шар твердого сплаву ВК8 наносили при енергії розряду $W_u=0,1$ Дж, тобто меншої ніж у прототипі, де $W_u=0,2$ Дж. Другий шар (мідь) і третій (твердий сплав ВК8) - наносили на різних режимах (див. табл. 9).

Таблиця 9

Результати металографічних досліджень КЕП

Матеріал електроду	Енергія розряду, W_u , Дж	Товщина, мкм		Мікротвердість, МПа		Шорсткість R_a , мкм
		шару	перехідної зони	шару	перехідної зони	
ВК8	0,1					
Cu	0,04					
ВК8	0,1	до 15	60-65	6500-9600	7500...9800	0,5
ВК8	0,1	до 15	60-65	6420...7570	7500...9580	0,5
Cu	0,08					
ВК8	0,1					
ВК8	0,1	до 15	до 60	5520...6970	6480...9300	0,8
Cu	0,08					
ВК8	0,2					
ВК8	0,2	12...20	до 60	6330...8740	6030...9500	0,7
Cu	0,08					
ВК8	0,2					

Для порівняння КЕП наносили на режимах прототипу.

Дані табл. 9 свідчать про те, що найкращим є КЕП, коли перший і останній шари з твердого сплаву ВК8 наносили за енергії розряду $W_u=0,1$, а проміжний шар (мідь) - при $W_u=0,04$ Дж.

5

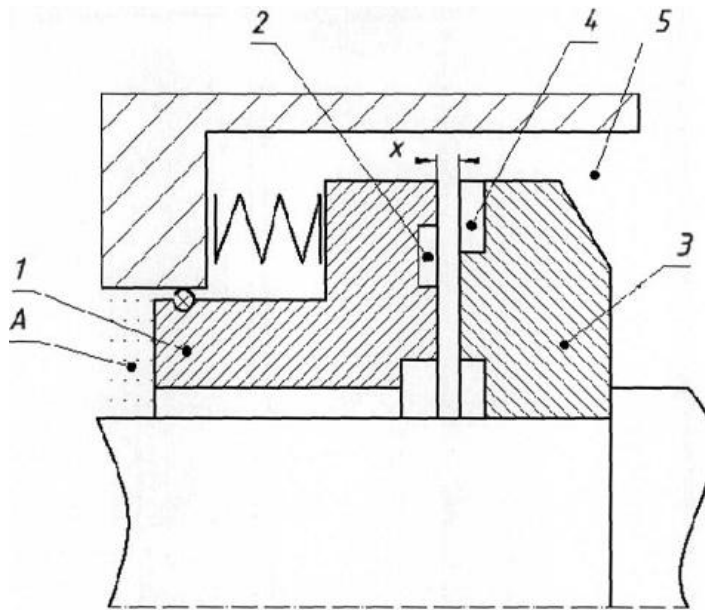
ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Спосіб підвищення зносостійкості робочих поверхонь сталевих кілець імпульсних торцевих уцілювань (ІТУ), що включає нанесення на них квазібагатошарових комбінованих електроерозійних покриттів (КЕП) складу, сформованого в послідовності ВК8+Cu+ВК8, який **відрізняється** тим, що перед нанесенням КЕП робочі поверхні обробляють методом електроерозійного легування графітовим електродом (ЦЕЕЛ) при енергії розряду в діапазоні 0,036...4,6 Дж, причому товщину шару підвищеної твердості збільшують на товщину шару ЦЕЕЛ.
2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що ЦЕЕЛ проводять при енергії розряду в діапазоні 0,036...1,41 Дж.
3. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що ЦЕЕЛ проводять при енергії розряду в діапазоні 1,41...2,83 Дж з наступною обробкою методом безабразивної ультразвукової фінішної обробки (БУФО).
4. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що ЦЕЕЛ проводять при енергії розряду в діапазоні 2,83...4,60 Дж з наступною обробкою методом БУФО і шліфуванням.
5. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що перший і останній шари з твердого сплаву ВК8 наносять при енергії розряду $W_u=0,1$ Дж, а мідь при $W_u=0,04$ Дж.

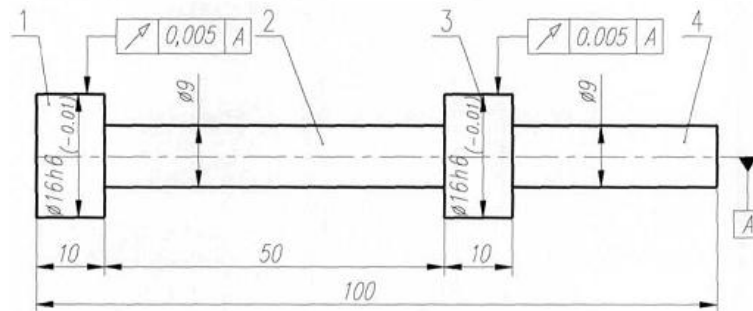
10

15

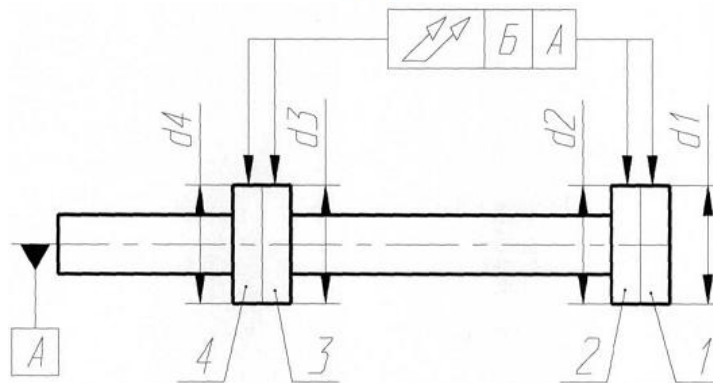
20



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

Комп'ютерна верстка О. Гергіль

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601