



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **153145** (13) **U**  
(51) МПК (2023.01)  
**B23H 9/00**  
**B23H 1/06** (2006.01)  
**C23C 4/00**

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ  
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ  
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

<p>(21) Номер заявки: <b>u 2022 04564</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>05.12.2022</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: <b>25.05.2023</b></p> <p>(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: <b>24.05.2023, Бюл.№ 21</b></p>	<p>(72) Винахідник(и): <b>Гапонова Оксана Петрівна (UA), Тарельник Наталія В'ячеславівна (UA), Тарельник В'ячеслав Борисович (UA), Жиленко Тетяна Іванівна (UA), Мисливченко Олександр Миколайович (UA), Охріменко Віктор Олександрович (UA), Голуб Наталія Романівна (UA)</b></p> <p>(73) Володілець (володільці): <b>СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007 (UA)</b></p> <p>(74) Представник: <b>Гудков Сергій Миколайович</b></p>
---	---

**(54) СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ СТАЛЕВИХ КІЛЕЦЬ ІМПУЛЬСНИХ ТОРЦЕВИХ УЩІЛЬНЕНЬ (ІТУ), ЯКІ ПІДЛЯГАЮТЬ РАДІАЦІЙНОМУ ОПРОМІНЮВАННЮ**

**(57) Реферат:**

Спосіб підвищення зносостійкості робочих поверхонь сталевих кілець імпульсних торцевих ущільнень (ІТУ) включає нанесення на ІТУ, які підлягають електроіскровому легуванню, квазібагат шарових покриттів. Першим шаром на поверхню кільця ІТУ наносять мідь при енергії розряду  $W_p=0,04$  Дж. Потім на сформоване покриття з міді наносять спеціальне технологічне насичувальне середовище у вигляді пастоподібної суміші, до складу якої входять - 80 % карбїду вольфраму, 10 % нікелю і 10 % вазелїну. Після цього проводять електроіскрове легування графітовим електродом (ЦЕІЛ) при енергії розряду в межах 0,5-4,6 Дж.

**UA 153145 U**



Корисна модель належить до області електрофізичної та електрохімічної обробки, зокрема до електроіскрового легування, і може застосовуватися для обробки поверхонь елементів імпульсних торцевих ущільнень (ІТУ).

5 До складу ІТУ входить аксіально рухоме кільце, яке виготовляють із силцьованого 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.].

10 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", які поєднують захисні властивості покриттів з механічною міцністю основи.

20 За способом електроерозійного легування (ЕЕЛ), те саме, що і ЕІЛ [А. с. 1734968 СССР, В23Н 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] з метою підвищення зносостійкості і зменшення шорсткості поверхні, спочатку наносять шар покриття антифрикційним легкоплавким металом, вибраним 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 ЕІЛ, направлений на вирішення задачі підвищення мікротвердості і зносостійкості поверхні зміцнених деталей.

30 Відомий спосіб електроерозійного легування поверхонь сталейних деталей [пат. РФ на винахід № 2524471, МПК В23Н 1/00, В23Н 9/00, опубл. 21.08.2019, Бюл. № 21, 11 с.], в якому спочатку наносили шар покриття антифрикційним металом міддю, а потім шар із зносостійкого високотвердого металу або його карбиду, вибраного з групи Ti, V, W. Металографічні дослідження шарів ЕІЛ покриттів, сформованих за вказаним способом на сталі 45, свідчать про те, що їх мікротвердість знаходиться на порівняно високому рівні (8400-12300 МПа). При цьому 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 %.

45 Найбільш близьким аналогом до способу, що пропонується, є спосіб, який наводиться у статті Тарельника В.Б. [Разработка технологии повышения качества поверхностных слоев импульсных торцевых уплотнений, работающих в различных средах, методом электроэрозионного легирования // Электронная обработка материалов. - 2000. - № 4. - С. 7-11]. Для збільшення товщини і суцільності покриття були запропоновані квазібагатошарові електроіскрові покриття, що формуються в послідовності ВК8+Cu+ВК8. За цим способом перший і останній шари з твердого сплаву ВК8 наносять при енергії розряду  $W_p=0,2$  Дж, а мідь - при  $W_p=0,08$  Дж. У цьому випадку товщина зміцненого шару збільшується до 30-40 мкм, мікротвердість знаходиться на рівні 8740 МПа, а суцільність становить 100 %.

50 Незважаючи на низьку позитивних особливостей квазібагатошарових електроіскрових покриттів, складу ВК8+Cu+ВК8, відмічених у найближчому аналогу, слід відмітити, що твердий сплав ВК8 має в своєму складі 8 % кобальту, наявність якого не дозволяє використовувати їх для ІТУ, що працюють в умовах радіаційного опромінювання. Порівняно з енергетичними установками на органічному паливі, умови роботи матеріалів в атомних енергетичних установках звичайно є більш складними й багатофакторними. При виборі конструкційних матеріалів для ядерних енергетичних установок (ЯЕУ) різних типів необхідно брати до уваги серед інших основних умов: число й величину циклічних змін механічних навантажень;

нейтронне опромінення й вплив теплоносія на корозію й корозійно-механічну міцність матеріалів. Для зниження впливу перенесених активних продуктів корозії на умови ремонту устаткування першого контуру в ряді випадків у сталі регламентується вміст елементів, які при опроміненні стають джерелом небезпечних довгоживучих ізотопів. Насамперед, це стосується кобальту. Також відомо, що кобальт, який має великий період напіврозпаду, неприпустимо використовувати в ущільненнях насосів атомних електростанцій [Ю.Ф. Баландин, И.Б. Горынин, Ю.И. Звездин, Б.Г. Мирков. Конструкционные материалы АЭС. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 280 с.].

Крім цього, 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 спрямована корисна модель, є підвищення якості, зносостійкості робочих поверхонь сталевих кілець імпульсних ущільнень та створення таких ІТУ, які можна використовувати в умовах радіаційного опромінювання.

Поставлена задача вирішується тим, що у способі підвищення зносостійкості робочих поверхонь сталевих кілець імпульсних торцевих ущільнень (ІТУ), що включає нанесення на ІТУ, які підлягають електроіскровому легуванню, квазібагатошарових покриттів, згідно з корисною моделлю, першим шаром на поверхню кільця ІТУ наносять мідь при енергії розряду  $W_p=0,04$  Дж, а потім на сформоване покриття з міді наносять спеціальне технологічне насичувальне середовище у вигляді пастоподібної суміші, до складу якої входять - 80 % карбіду вольфраму, 10 % нікелю і 10 % вазеліну, і проводять електроіскрове легування графітовим електродом (ЦЕІЛ) при енергії розряду в межах 0,5-4,6 Дж.

Крім цього, подальшу обробку поверхні графітовим електродом проводять при енергії розряду в межах 0,06-2,6 Дж для надання необхідної шорсткості.

І робочі поверхні, які підлягають електроіскровому легуванню, в подальшому піддаються безабразивній ультразвуковій фінішній обробці.

Застосування способу, що заявляється, дозволяє, формувати шари робочих поверхонь сталевих кілець імпульсних торцевих ущільнень підвищеної твердості товщиною залежно від марки сталі й енергії розряду при ЦЕІЛ від 30 до 115 мкм, мікротвердістю до 10350 МПа і суцільністю 100 %. Шорсткість сформованого покриття знаходиться в межах  $Ra=0,7-14,2$  мкм.

Використання нікелю вирішує явища, які відбуваються при використанні кобальтової зв'язки [Майер Э. Торцевые уплотнения. - М.: Машиностроение, 1978. - 288 с.]. Згідно з [Шелегов А.С., Лескин С.Т., Слободчук В.И. Насосное оборудование АЭС: учебное пособие для студентов высших учебных заведений. - М.: НИЯУ "МИФИ", 2011. - 346 с.]. Хімічний склад матеріалів деталей, що стикаються з теплоносієм, не містить спеціальних добавок кобальту та інших елементів, що утворюють довгоживучі ізотопи в активному робочому середовищі. Тому як матеріал покриттів можна використати метали, які не утворюють довгоживучі ізотопи в активному робочому середовищі, наприклад хром, молібден, нікель та ін.

Спосіб, що пропонується, складається з трьох етапів:

- на поверхню кільця ІТУ, яка підлягає ЕІЛ, наносять мідь при енергії розряду  $W_p=0,04$  Дж;
- на сформоване покриття з міді наносять спеціальне технологічне насичувальне середовище у вигляді пастоподібної суміші, до складу якої входять - 80 % карбіду вольфраму, 10 % нікелю і 10 % вазеліну;
- на третьому етапі, не чекаючи висихання пастоподібної суміші, проводять ЕІЛ графітовим електродом (ЦЕІЛ), застосовуючи енергію розряду в діапазоні 0,5...4,6 Дж.

З метою зменшення шорсткості поверхні після ЦЕІЛ рекомендовано проводити подальшу обробку поверхні графітовим електродом з енергією розряду 0,06-2,6 Дж, залежно від необхідної шорсткості, а також застосовувати безабразивну ультразвукову фінішу обробку.

Приклад конкретного застосування способу для різних матеріалів: сталі 12X18H10T, сталей 30X13 і 40X.

Для дослідження структури і виміру твердості поверхневого шару використовували шліфи зразків розміром  $10 \times 10 \times 8$  мм. Легування міддю відбувалось на установці з ручним вібратором "Елітрон-22А" при енергії розряду  $W_p=0,1$  Дж.

Для виготовлення спеціального технологічного насичувального середовища у вигляді пастоподібної суміші, використовували 80 % порошку карбіду вольфраму (розмір часток 4-6 мкм) марки WC, який складається, згідно з ТУ 48-19-540-92 з 94 % W і 6 % C; 10 % порошку

нікелю карбонільного, марки ПНК (ГОСТ 9722-97), в склад якого входить 99,7-99,9 % нікелю, з розміром часток <20 мкм і 10 % вазеліну.

5 Поверхня шліфа була орієнтована перпендикулярно до поверхні легування. Перед  
 виготовленням шліфа для виключення крайового ефекту при легуванні торець 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  
 10 мікроскопі "Неофот-2", за допомогою якого проводилася оцінка якості шару, його суцільності,  
 товщини і будови зон підшару - дифузійної зони і зони термічного впливу. Також проводився  
 дюрOMETричний аналіз на розподіл мікротвердості в поверхневому шарі і по глибині шліфа від  
 поверхні. Замір мікротвердості проводили на мікротвердомірі ПМТ-3 вдавненням алмазної  
 піраміди під навантаженням 0,05 Н. Шорсткість вимірювали на приладі профілографі-  
 профілометрі мод. 201 заводу "Калібр" шляхом зняття та обробки профілограм. Нижче в  
 15 таблицях 1-3 представлені результати проведених досліджень

Таблиця 1

Параметри якості поверхневих шарів зразків сталі 12X18H10T

Енергія розряду Wp, Дж	Продуктивність, см <sup>2</sup> /хв.	Загальна глибина шару, мкм	Мікротвердість, МПа	Шорсткість, Ra, мкм
0,5	1,0-1,3	30	9020	0,8-0,9
1,3	1,3-1,5	45	9320	1,0-1,8
2,6	1,5-2,0	60	9740	5,1-6,7
4,6	2,0-2,5	70	9860	8,3-9,0
6,8	2,5-3,0	110	8590	11,0-14,2

Таблиця 2

Параметри якості поверхневих шарів зразків сталі 30X13

Енергія розряду Wp, Дж	Продуктивність, см <sup>2</sup> /хв.	Загальна глибина шару, мкм	Мікротвердість, МПа	Шорсткість, Ra, мкм
0,52	1,0-1,3	40	9510	0,7-0,9
1,3	1,3-1,5	55	9630	1,1-1,7
2,6	1,5-2,0	70	9840	5,8-6,3
4,6	2,0-2,5	80	10350	8,0-8,5
6,8	2,5-3,0	115	9270	11,9-14,0

Таблиця 3

Параметри якості поверхневих шарів зразків сталі 40X

Енергія розряду Wp, Дж	Продуктивність, см <sup>2</sup> /хв.	Загальна глибина шару, мкм	Мікротвердість, МПа	Шорсткість, Ra, мкм
0,52	1,0-1,3	35	9430	0,7-1,1
1,3	1,3-1,5	50	9590	1,2-2,3
2,6	1,5-2,0	65	9830	5,5-6,8
4,6	2,0-2,5	75	10150	8,3-9,1
6,8	2,5-3,0	110	8900	11,5-13,9

20 Незалежно від досліджуваного матеріалу, шорсткість поверхні зростає з підвищенням енергії розряду (див. таблиці 1-3). Крім цього, в таблицях представлені дані про загальну глибину зміцненого шару і максимальну мікротвердість на поверхні досліджуваних зразків у залежності від енергії розряду. Зі збільшенням енергії розряду збільшується глибина зміцненого шару. Мікротвердість зміцненого шару зростає до енергії розряду Wp=4,6 Дж, а потім

знижується. Незалежно від досліджуваного матеріалу і режиму ЦЕІЛ мікротвердість зміцненого шару, максимальна на поверхні, у міру поглиблення плавно знижується і переходить в мікротвердість основи. Суцільність зміцненого шару на усіх досліджуваних зразках становить 100 %.

5 Враховуючи те, що ЦЕІЛ при енергії розряду  $W_p=6,8$  Дж, супроводжується зниженням мікротвердості і значним підвищенням шорсткості поверхневого шару, до практичної реалізації запропонованого способу рекомендуються параметри  $W_p$  в межах 0,5-4,6 Дж.

10 Слід відмітити, що шорсткість поверхневого шару можна знизити за рахунок подальшої ЦЕІЛ, але з меншою енергією розряду, а також безабразивною ультразвуковою фінішною обробкою (БУФО) (таблиця 4).

Таблиця 4

Параметри шорсткості зразків сталі 12X18H10T при подальшій ЦЕІЛ з меншою енергією розряду і БУФО

Енергія розряду $W_p$ , Дж	Шорсткість, $R_a$ , мкм	Зменшена енергія розряду $W_p$ , Дж	Продуктивність, $см^2/хв.$	Шорсткість, $R_a$ , мкм	Шорсткість, $R_a$ , мкм після обробки БУФО
0,5	0,8-0,9	0,06	0,5-0,8	0,6-0,7	0,3-0,4
1,3	1,0-1,8	0,5	1,0-1,3	0,8-0,9	0,4-0,5
2,6	5,1-6,7	1,3	1,3-1,5	1,2-1,4	0,6-0,7
4,6	8,3-9,0	2,6	1,5-2,0	5,2-6,8	1,0-1,2

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

15 1. Спосіб підвищення зносостійкості робочих поверхонь сталевих кілець імпульсних торцевих ущільнень (ІТУ), що включає нанесення на ІТУ, які підлягають електроіскровому легуванню, квазібагат шарових покриттів, який **відрізняється** тим, що першим шаром на поверхню кільця ІТУ наносять мідь при енергії розряду  $W_p=0,04$  Дж, а потім на сформоване покриття з міді наносять спеціальне технологічне насичувальне середовище у вигляді пастоподібної суміші, до складу якої входять: 80 % карбїду вольфраму, 10 % нікелю і 10 % вазелїну, і проводять електроіскрове легування графітовим електродом при енергії розряду в межах 0,5-4,6 Дж.

20 2. Спосіб підвищення зносостійкості робочих поверхонь сталевих кілець імпульсних торцевих ущільнень за п. 1, який **відрізняється** тим, що подальшу обробку поверхні графітовим електродом проводять при енергії розряду в межах 0,06-2,6 Дж для надання необхідної шорсткості.

25 3. Спосіб підвищення зносостійкості робочих поверхонь сталевих кілець імпульсних торцевих ущільнень за будь-яким з пп. 1, 2, який **відрізняється** тим, що робочі поверхні, які підлягають електроіскровому легуванню, в подальшому піддають безабразивній ультразвуковій фінішній обробці.

30