



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **159072** (13) **U**
(51) МПК (2025.01)
B23H 5/00
B23H 9/00

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

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки:	u 2024 03809	(72) Винахідник(и):	Тарельник Наталія В'ячеславівна (UA), Гапонова Оксана Петрівна (UA)
(22) Дата подання заявки:	24.07.2024	(73) Володілець (володільці):	Тарельник Наталія В'ячеславівна, вул. Холодноярської бригади, буд. 20, кв. 70, м. Суми, 40030 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності:	24.04.2025	(74) Представник:	Лісна Тетяна Леонідівна, реєстр. №286
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію:	23.04.2025, Бюл.№ 17		

**(54) СПОСІБ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТЯ НА ПОВЕРХНІ ДЕТАЛЕЙ З НЕРЖАВІЮЧОЇ СТАЛІ НАСОСНОГО
ОБЛАДНАННЯ АЕС**

(57) Реферат:

Спосіб нанесення покриття на поверхні деталей з нержавіючої сталі насосного обладнання АЕС методом електроіскрового легування (ЕІЛ) включає електроіскрове алітування поверхневого шару деталі алюмінієвим електродом (ЕІЛ Al). Як матеріал деталі використовують сталь 12Х18Н10Т.

UA 159072 U

Корисна модель належить до галузі електрофізичної та електрохімічної обробки, а саме до електроіскрового легування, і може бути застосована для виготовлення і ремонту деталей насосного обладнання (НО) атомних електростанцій АЕС, що працюють в агресивних середовищах і в процесі роботи піддаються впливу радіації.

Відомо насосне устаткування в технологічній схемі АЕС, яке забезпечує циркуляцію води між реактором і парогенератором, воду подають в реактор за допомогою головних циркуляційних насосів (ГЦН) під тиском $P=16,6$ МПа і при температурі $t=289$ °С. В реакторі воду нагрівають до $t=322$ °С і спрямовують її в парогенератор. Вода, що знаходиться в першому контурі, радіоактивна, тому, щоб унеможливити її витікання, велику увагу приділяють ущільненням головного циркуляційного насоса [<https://vseosvita.ua/library/embed/0100a91v-0886.docx.html>].

Для виготовлення вузлів і деталей ГЦН використовують матеріали з корозійностійких нержавіючих сталей, наприклад:

- равлик - виготовлено з нержавіючої сталі 06X12H3ДЛ мартенситно-аустенітного класу;
- корпус вузла ущільнення - зварна конструкція з поковок сталі 08X18H10T;
- нижній підшипник ковзання виготовлено зі сталі 12X18H10T;
- корпус ущільнення - зварна конструкція зі сталі 12X18H10T тощо [Техногенна безпека АЕС: Навч. посібн.; Ч. II/Д.О. Чалий, А.Б. Тарнавський, Р.Ю. Сукач, Р.Б. Веселівський; Держ. служба України з надзвичайних ситуацій; Львів. держ. ун-т безпеки життєдіяльності. - Львів: Каменяр, 2020. - 340 с.].

Сучасні ремонтні технології мають у своєму розпорядженні достатню кількість способів захисту деталей від абразивного зносу: наплавлення твердосплавним матеріалом, газоплазмове напилення твердосплавними порошками, приварювання окремих сегментів з нанесеним наплавленням у вакуумі композиційним матеріалом типу стеліт, напайка твердосплавних пластин безпосередньо на поверхню, що зношується, та ін. Їх застосовують як при виготовленні, так і при ремонті обладнання.

Одним з основних недоліків таких ремонтних технологій, як наплавлення, напайка, газоплазмове напилення, зварювання тощо, є їх негативний вплив на навколишнє середовище. В останні роки для підвищення якості поверхневих шарів деталей все більшої значущості набуває метод електроіскрового легування (ЕІЛ) - процес перенесення матеріалу на поверхню виробу іскровим електричним розрядом. Його специфічними особливостями є: локальність дії, мала витрата енергії, відсутність об'ємного нагріву матеріалу, міцне з'єднання нанесеного матеріалу з основою, простота автоматизації, можливість поєднання операцій та ін. Використовуючи різні електродні матеріали та навколишнє середовище, методом ЕІЛ можна проводити процеси, альтернативні хіміко-термічній обробці, але зі значно меншими витратами, при цьому технологія ЕІЛ екологічно і техногенно безпечна.

Відомо спосіб виготовлення деталей з нержавіючої сталі з комбінованим електроіскровим покриттям на зношуваних плоских і криволінійних поверхнях, що включає цементацію поверхні порожнистої заготовки методом електроіскрового легування, алітування цементованого шару методом електроіскрового легування алюмінієвим електродом і нанесення методом електроіскрового легування покриття електродом з твердого сплаву (Т15К6). Поверхню сформованого комбінованого електроіскрового покриття піддають поверхнево-пластичній деформації методом обкатки кулькою, потім від порожнистої заготовки відрізають кільце з нанесеним покриттям, а відрізане кільце розрізають на окремі сегменти, далі розгинають їх за допомогою преса до заданих розмірів, здійснюючи остаточну обробку покриття сегментів методом пластичної деформації. Після обкатки кулькою здійснюють полімеризацію метало-полімерним матеріалом, армованим при полімеризації порошком ВК6, частину шару метало-полімерного матеріалу видаляють до виступів шорсткості покриття з твердого сплаву Т15К6 [патент UA 142338 UA, МПК: B23H 5/00, B23H 9/00, опубл. 25.05.2020, бюл. № 10]

Недоліком цього способу є те, що покриття з твердого сплаву Т15К6 і порошок ВК6, який використовують для полімеризації, в своєму складі мають кобальт, який при опроміненні стає джерелом небезпечних довгоживучих ізотопів. Також відомо, що кобальт, який має великий період напіврозпаду, неприпустимо використовувати в ущільненнях насосів атомних електростанцій. Якщо замість кобальтової зв'язки використано нікель, то подібних явищ не відбувається [Ю.Ф. Баландін, І.Б. Горінін, Ю.І. Звездін, Б.Г. Мірков, Конструкційні матеріали АЕС. - Вища школа: 1984], [Майєр Е. Торцеві ущільнення: Машинобудування, 1978. - 288 с.].

Крім цього, цей спосіб не забезпечує жаростійкості поверхні деталей.

Найближчим до способу, що запропонований, є спосіб наведений у роботі [V. B. Tarelnyk, O. P. Gaponova, N. V. Tarelnyk, and O. M. Myslyuchenko, Aluminizing of Metal Surfaces by Electric-Spark Alloying, Progress in Physics of Metals, 24, No. 2: 282-318 (2023);

<https://doi.org/10.15407/ufm.24.02.282>].

Відповідно до цього способу як основу використовують зразки зі сталі 20 розміром 15×15×8 мм, на які наносили алюмінієві покриття методом електроіскрового легування (ЕІЛ) на установці з ручним вібратором моделі "Елітрон-52А". Як електроди використовували стрижні з алюмінієвого дроту марки СвА99 - діаметром 4 мм.

Легування здійснюють на різних режимах, кожному з яких відповідає своя енергія розряду і продуктивність - площа сформованого покриття в одиницю часу.

У роботі проведені дослідження з оцінки жаростійкості алітованих покриттів, отриманих ЕІЛ. Покриття методом ЕІЛ на зразках зі сталі 20 отримували за два проходи, спочатку з енергією розряду $W_p=2,6$ Дж і продуктивністю 1,8 см²/хв, а потім з $W_p=1,3$ Дж і продуктивністю 0,8 см²/хв. Як показали дослідження, після такої обробки формуються якісні покриття суцільністю 100 % та з низькою шорсткістю.

Дослідження жаростійкості електроіскрових алітованих покриттів показали, що під час високотемпературних випробувань вони не поступаються дифузійним. Після алітування методом ЕІЛ, що забезпечує 100 % суцільність, було показано, що втрата маси складала близько 0,007 мг/см² під час випробування при 980 °С впродовж 50 годин і за значенням наближалась до покриттів, отриманих у розплаві алюмінію.

Недоліком способу слід вважати те, що при дослідженнях як матеріал зразків (деталі), застосовували сталь 20, яка по своїм властивостям не може використовуватись у вузлах ГЦН, для яких характерне використання корозійностійких нержавіючих сталей [Техногенна безпека АЕС: Навч. посібн.; Ч. II/Д.О. Чалий, А.Б. Тарнавський, Р.Ю. Сукач, Р.Б. Веселівський; Держ. служба України з надзвичайних ситуацій; Львів. держ. ун-т безпеки життєдіяльності. - Львів: Каменяр, 2020. - 340 с.].

В основу корисної моделі поставлена задача підвищення жаростійкості нержавіючих сталей шляхом створення способу нанесення покриття на поверхнях деталей з нержавіючої сталі насосного обладнання АЕС методом електроіскрового легування (ЕІЛ).

Поставлена задача вирішується тим, що у способі нанесення покриття на поверхні деталей з нержавіючої сталі насосного обладнання АЕС методом електроіскрового легування (ЕІЛ), який включає електроіскрове алітування поверхневого шару деталі алюмінієвим електродом (ЕІЛ АІ), згідно з корисною моделлю, як матеріал деталі використовують сталь 12Х18Н10Т.

Алітування поверхневого шару проводять алюмінієвим електродом з алюмінієвого дроту марки СвА99 діаметром 4 мм на установці "Елітрон-52А" за три проходи, поступово зменшуючи енергію розряду: спочатку при $W_p=0,52$ потім при 0,13 і 0,05 Дж, відповідно.

На поверхневий шар матеріалу деталі наносять багат шарове покриття ЕІЛ АІ та ЕІЛ ніхромом (80 % Ni+20 % Cr) у послідовності: ЕІЛ АІ при $W_p=0,52$ Дж → ЕІЛ ніхром (80 % Ni+20 % Cr) при $W_p=0,13$ Дж і ЕІЛ АІ при $W_p=0,05$ Дж, відповідно, при цьому ЕІЛ АІ проводять електродом з алюмінієвого дроту марки СвА99 діаметром 4 мм, а ЕІЛ ніхромом (80 % Ni+20 % Cr) проводять електродом з ніхрому діаметром 3,5 мм на установці "Елітрон-52А".

Спосіб, що запропонований, полягає в нанесенні на нержавіючі корозійностійкі сталі покриття методом електроіскрового легування, яке складається з ЕІЛ АІ або ЕІЛ АІ + ЕІЛ ніхром (80 % Ni+20 % Cr), тобто багат шарового покриття, жаростійкість якого більше ніж 90 % порівняно зі зразками без покриття, що свідчить про ефективний захист поверхні сталі від високотемпературного окиснення. Отже, таке покриття може бути рекомендоване як жаростійке.

Спосіб включає електроіскрове алітування поверхневого шару деталі алюмінієвим електродом (ЕІЛ АІ). При цьому як матеріал деталі використовують сталь 06Х12Н3ДЛ, а алітування поверхневого шару проводять алюмінієвим електродом з алюмінієвого дроту марки СвА99 діаметром 4 мм на установці "Елітрон-52А" за три проходи, поступово зменшуючи енергію розряду: спочатку при $W_p=0,52$ потім при 0,13 і 0,05 Дж, відповідно, або на поверхневий шар матеріалу деталі наносять багат шарове покриття ЕІЛ АІ та ЕІЛ ніхромом (80 % Ni+20 % Cr) у послідовності: ЕІЛ АІ при $W_p=0,52$ Дж → ЕІЛ ніхром (80 % Ni+20 % Cr) при $W_p=0,13$ Дж і ЕІЛ АІ при $W_p=0,05$ Дж, відповідно. При цьому, ЕІЛ АІ проводять електродом з алюмінієвого дроту марки СвА99 діаметром 4 мм, а ЕІЛ ніхромом (80 % Ni+20 % Cr) проводять електродом з ніхрому діаметром 3,5 мм на установці "Елітрон-52А".

Далі наведені приклади нанесення жаростійких покриттів за способом, що запропонований, з посиланням на креслення, де на графіку показано зміну в масі зразків зі сталі 12Х18Н10Т під час випробування на жаростійкість при температурі 950 °С впродовж 100 годин. Покриття на зразках: 1 - без покриття, 2 - традиційне в розплаві АІ, 3 - ЕІЛ АІ, 4 - ЕІЛ Ні, 5 - ЕІЛ ніхром (80 % Ni+20 % Cr), 6 - ЕІЛ АІ+ЕІЛ Ні, 7 - ЕІЛ АІ+ЕІЛ ніхром (80 % Ni+20 % Cr), 8 - ЕІЛ Cr.

Як основу використовували зразки зі сталі 06Х12Н3ДЛ розміром 15×15×8 мм, на які наносили покриття методом ЕІЛ на установці з ручним вібратором моделі "Елітрон-52А". Як

електроди використовували стрижні з алюмінієвого дроту марки СвА99 - діаметром 4 мм, нікелю - Ø 3 мм, ніхром (80 % Ni+20 % Cr) - Ø 3,5 мм, хрому - Ø 3 мм.

Легування здійснювали на різних режимах, кожному з яких відповідала своя енергія розряду і продуктивність - площа сформованого покриття в одиницю часу (Таблиця).

5 Залежність продуктивності ЕІЛ від енергії розряду

Таблиця

Енергія розряду (W_p), Дж	0,05	0,13	0,52	1,3	2,6	4,6	6,8
Продуктивність, $\text{см}^2/\text{хв}$	0,4-0,6	0,7-0,9	1,0-1,3	1,3-1,5	1,5-2,0	2,0-2,5	2,5-3,0

Були проведені дослідження з оцінки жаростійкості покриттів, отриманих методом ЕІЛ. Досліджувалися серія зразків:

10 - зразки зі сталі 06Х12НЗДЛ після ЕІЛ Al; Ni; Cr і ніхромом (80 % Ni+20 % Cr), для отримання якісного покриття, обробляли, виконуючи три проходи, поступово зменшуючи енергію розряду: спочатку при $W_p=0,52$ потім при 0,13 і 0,05 Дж;

- досліджували багатошарове покриття ЕІЛ Al і ЕІЛ Ni в послідовності: ЕІЛ Al при $W_p=0,52$ Дж → ЕІЛ Ni при $W_p=0,13$ Дж → ЕІЛ Al при $W_p=0,05$ Дж;

15 - досліджували багатошарове покриття ЕІЛ Al і ЕІЛ ніхромом (80 % Ni+20 % Cr) в послідовності: ЕІЛ Al при $W_p=0,52$ Дж → ЕІЛ ніхром (80 % Ni+20 % Cr) при $W_p=0,13$ Дж і ЕІЛ Al при $W_p=0,05$ Дж.

20 Випробування на жаростійкість проводили шляхом визначення зміни маси зразків до і після випробування, розміри яких були однакові для всіх прикладів здійснення способу (15×15×8 мм). Таким чином, визначають абсолютне значення зміни мас зразків. Жаростійкість визначають після витримки зразків у печі протягом 10 годин при постійній температурі 950 °С. Перед випробуванням зразки просушують і зважують на аналітичних вагах з точністю до ±0,1 мг. Поверхня зразків знежирюють. Після цього зразки в тиглях з окису алюмінію поміщають в піч. Кожен зразок знаходився в окремому тиглі. Нагрівання зразків проводять в електричній печі опору (температура контролювалася термopарою). Як показник жаростійкості використовують абсолютне значення зміни мас зразків до і після випробування. Зміни маси зразка контролюють кожних 10 годин витримки в печі. Збільшення маси зразка визначають за різницею результатів зважування холодного зразка до і після витримки в печі.

25 Для порівняння показників жаростійкості, зразки із досліджуваних сталей піддають класичному алітуванню - у розплаві алюмінію відповідно до [Минкевич А.Н. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. Монография./А.Н. Минкевич. - М.: Машиностроение, 1965. - 493 с.] і без покриття.

Металографічний аналіз покриттів після випробування на жаростійкість виконують за допомогою оптичного мікроскопа МІМ-7, до і після травлення.

35 Визначені абсолютні значення зміни мас зразків сталі 12Х18Н10Т після випробування на жаростійкість при температурі 950 °С впродовж 100 годин (креслення).

40 Визначено, що електроіскрові покриття на рівні дифузійних захищають сталь від окиснення. Варто відмітити, що найкращі показники мають покриття, що містять алюміній - ЕІЛ Al, тобто алітування методом ЕІЛ, і ЕІЛ Al+ЕІЛ ніхром (80 % Ni+20 % Cr), тобто, багатошарове ЕІЛ покриття, що нанесене послідовно шар алюмінію і наступний шар із ніхромом. Очевидно, що створювані в покритті під час ЕІЛ фази забезпечують надійний захист сталі від високотемпературного окиснення. Також слід враховувати якість покриттів. Режими обробки обрані таким чином, щоб забезпечувати максимальну суцільність покриття у поєднанні з мінімальною шорсткістю. Порівняно зі зразками без покриття, алюмінійвмісні ЕІЛ покриття мають на більше ніж 90 % менший приріст маси, що свідчить про ефективний захист поверхні сталі від високотемпературного окиснення.

Отже, розроблене покриття можна рекомендувати як жаростійке.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

50

1. Спосіб нанесення покриття на поверхні деталей з нержавіючої сталі методом електроіскрового легування (ЕІЛ), що включає електроіскрове алітування поверхневого шару деталі алюмінієвим електродом (ЕІЛ Al), який **відрізняється** тим, що як матеріал деталі використовують сталь 12Х18Н10Т.

55 2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що алітування поверхневого шару проводять алюмінієвим електродом з алюмінієвого дроту марки СвА99 діаметром 4 мм на установці

"Елітрон-52А" за три проходи, поступово зменшуючи енергію розряду: спочатку при $W_p=0,52$ потім при 0,13 і 0,05 Дж, відповідно.

3. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що на поверхневий шар матеріалу деталі наносять багат шарове покриття ЕІЛ Al та ЕІЛ ніхромом (80 % Ni+20 % Cr) у послідовності: ЕІЛ Al при $W_p=0,52$ Дж → ЕІЛ ніхром (80 % Ni+20 % Cr) при $W_p=0,13$ Дж і ЕІЛ Al при $W_p=0,05$ Дж, відповідно.
- 5 4. Спосіб за п. 3, який **відрізняється** тим, що ЕІЛ Al проводять електродом з алюмінієвого дроту марки СвА99 діаметром 4 мм, а ЕІЛ ніхромом (80 % Ni+20 % Cr) проводять електродом з ніхрому діаметром 3,5 мм на установці "Елітрон-52А".

