



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **152967** (13) **U**
(51) МПК (2023.01)
B23H 1/06 (2006.01)
B23H 9/00
C23C 4/067 (2016.01)

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

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2022 03922	(72) Винахідник(и): Гапонова Оксана Петрівна (UA), Тарельник Наталія В'ячеславівна (UA), Тарельник В'ячеслав Борисович (UA), Жиленко Тетяна Іванівна (UA), Мисливченко Олександр Миколайович (UA), Дудченко Віталіна Вікторівна (UA), Голуб Наталія Романівна (UA)
(22) Дата подання заявки: 19.10.2022	(73) Володілець (володільці): СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Римського-Корсакова, буд. 2, м. Суми, 40007 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 04.05.2023	(74) Представник: ГУДКОВ СЕРГІЙ МИКОЛАЙОВИЧ
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 03.05.2023, Бюл.№ 18	

(54) СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ СТАЛЕВИХ ДЕТАЛЕЙ ОБЛАДНАННЯ, ЯКЕ ПРАЦЮЄ В УМОВАХ РАДІАЦІЙНОГО ОПРОМІНЮВАННЯ

(57) Реферат:

Спосіб підвищення зносостійкості сталевих деталей обладнання, яке працює в умовах радіаційного опромінювання, що включає покриття шаром легуючого металу зношуваної поверхні виробу методом електроіскрового легування (ЕІЛ), після чого на вкриту легуючим металом поверхню наносять зносостійкий композитний матеріал методом ЕІЛ із застосуванням електрода, попередньо виготовленого зі зносостійкого композитного матеріалу, до складу якого входить суміш 1М, яка включає 70 ваг. % Ni, 20 ваг. % Cr, 5 ваг. % Si, 5 ваг. % В. Як легуючий метал використовують свинець, і ЕІЛ проводять при енергії розряду $W_p=0,03-0,05$ Дж, а в зносостійкому композитному матеріалі суміш 1М складає >10-40 ваг. %, а інше це 60-<90 ваг. % карбїду вольфраму. Нанесення зносостійкого композитного матеріалу здійснюють при енергії імпульсу $W_p=0,27-0,39$ Дж.

UA 152967 U

Корисна модель належить до способів підвищення зносостійкості сталевих виробів, зокрема до способів захисту сталевих виробів від абразивного та інших видів зносу шляхом нанесення на їх поверхні зносостійкого композитного матеріалу, і може застосовуватися для обробки поверхонь деталей машин і металорізальних інструментів.

5 Відомий спосіб підвищення зносостійкості сталевих виробів шляхом шлікерного нанесення покриття з композитного матеріалу (пильверизацією або наливом з подальшим струшуванням і подальшим відпалом у вакуумі), який полягає в тому, що з механічної суміші тонкодисперсних порошків вихідних компонентів готують суспензію, яку наносять на очищену поверхню металу. Потім покриття сушать і обпалюють в захисному середовищі, наприклад водні, аргоні або
10 вакуумі (10^{-2} 10 мм рт. ст.) при температурі 1280-1340 °С. Композитний металокерамічний матеріал на основі вольфраму використовують, наприклад, як покриття для захисту поверхонь сталевих виробів від газоабразивного та інших видів зносу [Металлокерамический материал на основе вольфрама: А.с. 377387 СССР, МКИ С22С 27/00 / Л.А. Иванов, Г.П. Пархоменко, П.М. Несвит, В.Н. Радзиевский, Ю.Н. Бузовский, А.А. Аппен, Е.А. Антонова (СССР). - № 1679948/22-1; 15 Заявлено 12.07.71; Опубл. 17.04.73, Бюл. № 18. - 2 с.]

Відомий спосіб нанесення спеченого покриття з композитного матеріалу, в якому наповнювачем служить твёрдосплавна суміш ВК6, а легкоплавкою зв'язкою - твердий розчин системи Ni-Cr-Si-B. Покриття наносять на робочі поверхні деталей шлікерним методом. Кращу зносостійкість проти ерозійного зносу показали зразки зі сталі 30ХГСА з покриттям складу 10
20 ваг. % 1М+90 % ВК6, де 1М - 70 % Ni, 20 % Cr, 5 % Si, 5 % В (ваг. %). Твердість нанесеного шару покриття 85-86 HRA (1050-1100 HV) [Л.А. Иванов, Г.П. Пархоменко. Спеченное покрытие для деталей, работающих в условиях эрозионного износа Порошковая металлургия. - 1974. - № 2. - С. 90-94].

Вироби, оброблені зазначеним способом, мають недостатню надійність і довговічність, внаслідок того, що при руйнуванні сформованого шлікерного покриття відбувається відмова їх працездатності. Всі методи контролю формування шлікерних покриттів не можуть дати повної гарантії якості зчеплення матеріалу, що наноситься, з підкладкою. Як правило, перед нанесенням шлікерного покриття проводиться очистка поверхні. На ділянках фактичного контакту поверхонь діють сили молекулярного тяжіння. Перехідний шар, який зумовлює міцний
30 механічний зв'язок, при цьому відсутній, що негативно впливає на якість адгезії в цілому. Крім цього, вказаний спосіб є досить дорогим і трудомістким через процеси виготовлення, нанесення і відпалу покриттів.

Найбільш близьким до способу, що заявляється, вибраним як прототип є спосіб підвищення зносостійкості сталевих виробів [Способ нанесения износостойкого композиционного покрытия на изнашиваемые поверхности стальных изделий: пат. 2 598 738 РФ на изобретение, В23Н 9/00 (2006.01) В23Н 1/06 (2006.01) / Марцинковский В.С., Тарельник В.Б.; заявл. 09.09.2014; опубл. 27.09.2016. Бюл. № 27. 9 с.], який включає нанесення на зношувані поверхні сталевих виробів зносостійкого композитного матеріалу, що складається з твёрдосплавної суміші ВК6 і легкоплавкої суміші М1, який відрізняється тим, що зношувану поверхню виробу покривають шаром індію методом електроіскрового легування (ЕІЛ) [Лазаренко Н.И. Электроискровое легирование металлических поверхностей. - М.: Машиностроение, 1976. - 46 с.] при енергії розряду $W_p=0,01-0,03$ Дж, після чого на вкриту індієм поверхню наносять зносостійкий композитний матеріал, при цьому композитний матеріал наносять методом ЕІЛ із застосуванням електрода, попередньо виготовленого зі зносостійкого композитного матеріалу складу > 10-30 ваг. % суміші 1М і 70 - <90 ваг. % суміші ВК6. При цьому 1М включає 70 ваг. % Ni, 20 ваг. % Cr, 5 ваг. % Si, 5 ваг. % В, при енергії розряду $W_p=0,35-0,42$ Дж.

Незважаючи на низку позитивних особливостей композитного електроіскрового покриття, складу > 10-30 ваг. % суміші 1М і 70 - <90 ваг. % суміші ВК6, де 1М включає 70 ваг. % Ni, 20 ваг. % Cr, 5 ваг. % Si, 5 ваг. % В, відмічених у прототипі, слід відмітити, що суміш ВК6 має в своєму складі 6 % кобальту, наявність якого, не дозволяє використовувати їх при нанесенні на поверхні сталевих деталей, що працюють в умовах радіаційного опромінювання і зношуються [Ю.Ф. Баландин, И.Б. Горынин, Ю.И. Звездин, Б.Г. Мирков. Конструкционные материалы АЭС. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 280 с.]

У роботі [Ю.Ф. Баландин, И.Б. Горынин, Ю.И. Звездин, Б.Г. Мирков. Конструкционные материалы АЭС. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 280с.] відзначається, що порівняно з енергетичними установками на органічному паливі, умови роботи матеріалів в атомних енергетичних установках звичайно є більш складними й багатofакторними. 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
60

міцність матеріалів. Для зниження впливу перенесених активних продуктів корозії на умови ремонту встаткування 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.

Якщо замість кобальтової зв'язки використано нікель, то подібних явищ не відбувається [Майер Э. Торцовые уплотнения. - М.: Машиностроение, 1978. - 288 с.]. Згідно з [Шелегов А.С., Лескин С.Т., Слободчук В.И. Насосноеоборудование 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.

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]. При цьому, наявність у покритті навіть незначної кількості (до 6 %) кобальту за певних умов може негативно позначитися на його зносостійкості.

До значного недоліку прототипу слід віднести і те, що перед нанесенням зносостійкого композитного матеріалу, що складається з твёрдосплавної суміші ВК6 і легкоплавкої суміші М1, на сталюну поверхню, яка зношується, наносять індій.

Наносить на сталюну поверхню індій методом ЕІЛ дуже складно. Індій - це м'який, гнучкий і пластичний метал, який має низьку температуру плавлення ($T_{пл} = 157 \text{ }^\circ\text{C}$). При використанні індію як електрода-інструмента він навіть при найменших енергіях розряду $W_p=0,01-0,03 \text{ Дж}$, що вживають в прототипі, дуже швидко, протягом 5-10 с, нагрівається, деформується і потребує охолодження і вирівнювання, що дуже ускладнює процес легування і значно, мінімум на два порядки, знижує продуктивність процесу.

В основу корисної моделі поставлена задача вдосконалення способу підвищення зносостійкості сталевих виробів. А саме, створення способу захисту сталевих виробів, що працюють в умовах радіаційного опромінювання, від абразивного та інших видів зносу шляхом нанесення на їх зношувані поверхні зносостійких композитних покриттів, який би підвищив якість деталей, забезпечив здатність чинити опір зношуванню, гарантував надійність і довговічність їх роботи, знизив трудомісткість і вартість виготовлення.

Поставлена задача вирішується тим, що спосіб підвищення зносостійкості сталевих деталей обладнання, яке працює в умовах радіаційного опромінювання, що включає покриття шаром легуючого металу зношуваної поверхні виробу методом електроіскрового легування (ЕІЛ), після чого на вкриту легуючим металом поверхню наносять зносостійкий композитний матеріал методом ЕІЛ із застосуванням електрода, попередньо виготовленого зі зносостійкого композитного матеріалу, до складу якого входить суміш 1М, яка включає 70 ваг. % Ni, 20 ваг. % Cr, 5 ваг. % Si, 5 ваг. % В, згідно з корисною моделлю, як легуючий метал використовують свинець, і ЕІЛ проводять при енергії розряду $W_p=0,03-0,05 \text{ Дж}$, а в зносостійкому композитному матеріалі суміш 1М складає > 10-40 ваг. %, а інше це 60 - < 90 ваг. % карбід вольфраму. Нанесення зносостійкого композитного матеріалу здійснюють при енергії імпульсу $W_p=0,27-0,39 \text{ Дж}$.

Нанесення свинцю на зношувані поверхні сталевих виробів захищає їх від радіаційного опромінювання. Свинець використовується для захисту в рентгенівських апаратах, атомних електростанціях, лабораторіях, військовій техніці та інших місцях, де може виникнути радіація. [Гусев Н.Г., Климанов В.А., Машкович В.П., Суворов А.П. Захист від іонізуючих випромінювань. - М.: Вища школа, 1989. - С. 512.]. А нанесення на зношувані поверхні сталевих виробів зносостійких композитних покриттів, що мають у складі нікель підвищує якість деталей, гарантує надійність, безпеку і довговічність їх роботи.

Для пояснення сутті корисної моделі на фото наведена установка "Елітрон-22А".

Спосіб здійснюється наступним чином.

Для підвищення зносостійкості сталевих виробів, зношувану поверхню виробу покривають шаром свинцю методом електроіскрового легування (ЕІЛ) при енергії імпульсу $W_p=0,02-0,05 \text{ Дж}$, після чого на вкриту свинцем поверхню наносять зносостійкий композитного матеріалу, що складається з карбиду вольфраму марки WC і легкоплавкої суміші М1 методом ЕІЛ при енергії розряду $W_p=0,27-0,39 \text{ Дж}$ із застосуванням електрода, попередньо виготовленого із зносостійкого композитного матеріалу складу > 10-30 ваг. % суміші 1М і 70 - < 90 ваг. % карбиду

вольфраму марки WC. При цьому, 1М включає 70 ваг. % Ni, 20 ваг. % Cr, 5 ваг. % Si, 5 ваг. % В. При цьому, електрод виготовляють з композитного матеріалу, отриманого методом порошкової металургії.

Багатокомпонентну суміш для виготовлення електродів отримують окремо, готуючи тонкодисперсні суміші 1М і карбіду вольфраму марки WC. Суміш 1М готують з тонкодисперсних порошків Ni, Cr, Si, В з розмірами частинок не більше 40 мкм. Порошки просушують в сушильних шафах при 150-200 °С, просіюють через сито 0075, завантажують необхідну кількість їх відповідно до рецептури в спеціальний змішувач і проводять механічне змішування протягом 24 год. Для приготування тугоплавкої складової суміші карбіду вольфраму використовують готовий порошок карбіду вольфраму (розмір часток 4-6 мкм) марки WC, який складається, згідно з ТУ 48-19-540-92 з 94 % W і 6 % C, який просушують в вакуумі з розрідженням не менше $1 \cdot 10^{-1}$ мм. рт. ст. при 150 °С, потім просіюють через сито 0075. Після того, як твердосплавна і самофлюсуючі суміші готові, їх завантажують в змішувач і піддають спільному сухому механічному змішуванню протягом 24 год. у таких співвідношеннях: 100 % 1М; 50 % WC+50 % 1М; 60 % WC+40 % 1М; 70 % WC+30 % 1М; 80 % WC+20 % 1М; 90 % WC+10 % 1М.

Зазначені суміші замішують з пластифікатором (5 %-й розчин синтетичного каучуку в бензині). Заготовки необхідних розмірів пресували в формах (тиск пресування 0,7-1,0 т/см²), які потім спікали при 1400-1500 °С в захисній атмосфері (водень) в печі будь-якої системи, що дозволяє забезпечити задану температуру. Виготовленими таким чином електродами проводять ЕІЛ зразків зі сталі 45 і Р6М5 на установці "Елітрон-22А" на 5-му режимі при $W_p=0,27-0,39$ Дж (фото, табл. 1).

Таблиця 1

Режими роботи установки моделі "Елітрон-22А"

№ режиму	Напруга холостого ходу $U_{х.х.}$, В	Робочий струм I_p , А	Ємність накопичувального конденсатора С, мкФ	Енергія розряду W_p , Дж
1	15	0,4-0,7	360	0,01-0,02
2	22	0,7-0,8		0,03-0,05
3	35	0,9-1,3		0,08-0,13
4	50	1,4-1,8		0,19-0,25
5	60	1,9-2,3		0,27-0,39
6	70	2,4-2,8		0,52-0,57

Попередні шари з свинцю наносять, відповідно, на 2-му режимі цієї ж установки при $W_p=0,03-0,05$ Дж. Оцінку якості шару, його суцільності, товщини і будови зон підшару проводять на оптичному мікроскопі "Неофот-2". Також вимірюють мікротвердість по глибині шліфа на мікротвердомірі ПМТ-3 вдавленням алмазної піраміди під навантаженням 0,05 Н. Шорсткість визначають на приладі профілограф-профілометр мод. 201 заводу "Калібр" шляхом зняття та обробки профілограм.

З метою вибору покриття для захисту робочих коліс відцентрових компресорів від газоабразивного зносу проводились лабораторні випробування покриттів різних типів на зразках розміром 100×50×6 мм, вирізаних з листової сталі 30ХГС. Зразки випробовували в піскоструминних камерах, що працюють від повітряної магістралі з тиском 600 кН/м², абразивом служив кварцовий пісок з діаметром частинок 0,2 мм. Зразки встановлювалися під сопло апарата на спеціальних підставках під кутами атаки 90 і 45°.

Як матеріали електродів використовувалися сплави 1М; 90 % WC+10 % 1М і твердий сплав Т15К6. Зміцнення зразків виконували на установці "Елітрон-22А" з ручним вібратором при $W_p=0,27-0,39$ Дж. Для порівняння випробовували зразки з нанесеним покриттям (по троє зразків на серію) і еталонні зразки зі сталі 30ХГС без покриття, термооброблені по режиму (НВ 296-302 при σ_T не більше 784 Мн/м² і δ не менше 15 %). Зносостійкість зразків оцінювали по втраті ваги. Зносостійкість металорізального інструмента зі швидкорізальної сталі Р6М5, зміцненого методом ЕІЛ електродами, виготовленими з карбіду вольфраму WC і сплаву 1М в різних співвідношеннях, досліджувалася в умовах виробництва.

Результати металографічних досліджень цих покриттів зведені в таблицю 2. Крім цього в таблиці 2 представлені результати металографічних досліджень покриттів на сталі 45, що

складаються з карбіду вольфраму WC і сплаву 1M в різних співвідношеннях, а також сплавів 1M і 90 % WC+10 % 1M з підшаром зі свинцю.

В результаті аналізу табл. 2 встановлено, що найбільш переважним є застосування електродів з матеріалу складу (10-40) ваг. % 1M+(60-90) ваг. % WC, що дозволяють формувати поверхневий шар з мікротвердістю 11700-13450 МПа.

Підшар з свинцю, знижуючи шорсткість покриття складу 90 % WC+10 % 1M з Ra=4,1-4,3 мкм до Ra=0,6-0,8 мкм і збільшуючи суцільність з 85 до 95 %, незначно знижує його мікротвердість до 12870 МПа.

Таблиця 2

Результати досліджень параметрів якості поверхневих шарів зразків із сталі 45 і P6M5 з композиційними електроіскровими покриттями

Матеріал зразку	Матеріал покриття	Товщина шару, мкм	Мікротвердість, Н _ц , МПа	Суцільність, %	Шорсткість, Ra, мкм
P6M5	50 % WC+50 % 1M	40...50	9300	70	3,8
	60 % WC+40 % 1M	30...40	12100	75	3,9
	70 % WC+30 % 1M	25...35	12450	80	4,0
	80 % WC+20 % 1M	20...30	13100	80	4,1
	90 % WC+10 % 1M	15...25	13450	85	4,3
	100 % 1M	50...60	11850	85	3,9
	Pb+100 % 1M	15...20	11250	95	0,7
	Pb+90 % WC+10 % 1M	10...15	12870	95	0,8
Сталь 45	50 % WC+50 % 1M	40...50	8980	75	3,7
	60 % WC+40 % 1M	35...45	11700	70	3,8
	70 % WC+30 % 1M	30...40	12300	70	3,9
	80 % WC+20 % 1M	25...35	12600	75	4,0
	90 % WC+10 % 1M	20...30	13100	80	4,1
	100 % 1M	40...60	11500	85	3,8
	Pb+100 % 1M	15...20	9300	95	0,6

Слід зазначити, що ЕІЛ електродами, виготовленими зі сплаву 1M, дозволяє формувати покриття товщиною до 60 мкм з мікротвердістю 11500-11850 МПа.

Результати зносу зразків в піскоструминних камерах, що працюють від повітряної магістралі з тиском 600 кН/м², як зміцнених, так і не зміцнених, занесені в таблицю 3.

Таблиця 3

Результати порівняльних випробувань на ерозійний знос зразків зі сталі 30ХГСА

Матеріал покриття	Втрата ваги, г	Тривалість випробування, год.	Кут атаки, градус
Без покриття	51	1	45
Без покриття	38	1	90
T15K6	23	1	45
T15K6	17	1	90
1M	27	1	45
1M	20	1	90
90 % WC+10 % 1M	17	1	45
90 % WC+10 % 1M	12	1	90

З метою визначення найбільш стійкого матеріалу покриття металорізального інструмента, в ТОВ "ТРИЗ" (м. Суми) випробовувалися кінцеві фрези Ø 36 мм зі сталі P6M5 при фрезеруванні пазів в деталі диска на верстаті з ЧПУ мод. 654Ф3. Фрези зміцнювали методом ЕІЛ на установці "Елітрон-22А" при Wp=0,27Дж. Результати випробувань занесені в таблицю 4.

Результати порівняльних виробничих випробувань стійкості кінцевих фрез при обробці сталі 09XA15H8Ю

Матеріал електрода	Кількість виготовлених деталей	Коефіцієнт зростання стійкості
-	1,0	1,0
-	1,0	1,0
-	1,0	1,0
60 % WC+30 % 1M	2,9	2,9
60 % WC+30 % 1M	2,7	2,7
60 % WC+30 % 1M	2,8	2,8
70 % WC+30 % 1M	3,0	3,0
70 % WC+30 % 1M	3,1	3,1
70 % WC+30 % 1M	3,2	3,2
80 % WC+20 % 1M	3,5	3,5
80 % WC+20 % 1M	3,5	3,5
80 % WC+20 % 1M	3,6	3,6
90 % WC+10 % 1M	4,0	4,0
90 % WC+10 % 1M	4,2	4,2
90 % WC+10 % 1M	4,1	4,1
ВК6	1,7	1,7
ВК6	1,9	1,9
ВК6	2,0	2,0

Проведені дослідження дозволили зробити наступні висновки:

- 5 Застосування нових матеріалів електродів складу (10-40) ваг. % 1M+(60-90) ваг. % WC, отриманих способом порошкової металургії, дозволяє формувати методом ЕІЛ поверхневий шар з мікротвердістю 11700-13450 МПа.
2. Підшар з свинцю, знижуючи шорсткість покриття складу 90 % WC+10 % 1M з Ra=4,1-4,3 мкм до Ra=0,6-0,8 мкм і збільшуючи суцільність з 85 до 95 %, незначно знижує його мікротвердість до 12870 МПа.
- 10 3. Стійкість проти ерозійного зносу зразків зі сталі 30ХГСА з ЕІЛ покриттям 90 % WC+10 % 1M в 3,5 рази вище, ніж без покриття в стані термообробки і, відповідно, в 1,5 і 1,7 разів вище, ніж у зразків, зміцнених твердим сплавом Т15К6 і 1М. Зносостійкість зразків, розташованих під кутом 90°, вище, ніж у зразків, розташованих під кутом 45°.
- 15 4. Застосування електродів складу 90 % WC+10 % 1M при нанесенні методом ЕІЛ на різальний інструмент дозволяють значно (до 4,2 разів) збільшити його стійкість, порівняно з не зміцненим, що тягне за собою підвищення продуктивності праці та економію дорогих матеріалів. Тверді зносостійкі покриття з композиційного матеріалу, що складається з карбіду вольфраму WC і сплаву 1M в різних співвідношеннях, наносяться при енергії імпульсу $W_p=0,27-0,39$ Дж. Зниження енергії розряду супроводжується зменшенням товщини нанесеного шару з 25-50 мкм до 5-15 мкм. Підвищення енергії розряду, наприклад до $W_p=0,52-0,57$ Дж, супроводжується різким збільшенням параметра шорсткості поверхні з Ra=4,1-4,3 мкм до Ra=7,1-9,3 мкм; і зниженням суцільності покриття до 60 %. М'який антифрикційний матеріал свинець наносять при $W_p=0,03-0,05$ Дж. В даному випадку нижня межа енергії обмежується ефективністю способу. Збільшення енергії імпульсу вище верхньої межі призводить до зростання температури електрода-інструмента з свинцю і його інтенсивного руйнування (температура плавлення свинцю 327,5 °C).
- 25

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

- Спосіб підвищення зносостійкості сталевих деталей обладнання, яке працює в умовах радіаційного опромінювання, що включає покриття шаром легуючого металу зношеної поверхні виробу методом електроіскрового легування (ЕІЛ), після чого на вкриту легуючим металом поверхню наносять зносостійкий композитний матеріал методом ЕІЛ із застосуванням електрода, попередньо виготовленого зі зносостійкого композитного матеріалу, до складу якого входить суміш 1М, яка включає 70 ваг. % Ni, 20 ваг. % Cr, 5 ваг. % Si, 5 ваг. % В, який **відрізняється** тим, що як легуючий метал використовують свинець, і ЕІЛ проводять при енергії розряду $W_p=0,03-0,05$ Дж, а в зносостійкому композитному матеріалі суміш 1М складає >10-40 ваг. %, а інше - це 60-<90 ваг. % карбіду вольфраму, а нанесення зносостійкого композитного матеріалу здійснюють при енергії імпульсу $W_p=0,27-0,39$ Дж.

