



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **155984** (13) **U**
(51) МПК (2024.01)
B23H 9/00
B23H 5/00

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

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: u 2023 04251</p> <p>(22) Дата подання заявки: 08.09.2023</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 25.04.2024</p> <p>(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 24.04.2024, Бюл.№ 17</p>	<p>(72) Винахідник(и): Тарельник В'ячеслав Борисович (UA), Гапонова Оксана Петрівна (UA), Тарельник Наталія В'ячеславівна (UA), Мікуліна Марина Олександрівна (UA), Лавренко Олександр Максимович (UA), Майфат Микола Миколайович (UA), Доценко Артем Олексійович (UA), Білий Олександр Євгенійович (UA)</p> <p>(73) Володілець (володільці): Тарельник Наталія В'ячеславівна, вул. Холодноярської бригади, буд. 20, кв. 70, м. Суми, 40030 (UA)</p> <p>(74) Представник: Лісна Тетяна Леонідівна, реєстр. №286</p>
---	--

(54) СПОСІБ ЗАХИСТУ СТАЛЕВИХ ДЕТАЛЕЙ ВІД ГІДРОАБРАЗИВНОГО ЗНОСУ

(57) Реферат:

Спосіб захисту сталевих деталей від гідроабразивного зносу включає підготовку поверхонь - шліфовку сталевих деталей, нанесення комбінованого електроіскрового покриття - цементацію методом електроіскрового легування, алітування методом електроіскрового легування. На алітовану поверхню наносять електроіскрове покриття електродом-інструментом з композиційного зносостійкого матеріалу 90%ВК6 та 10%1М при енергії розряду $W_p=0,13-3,4$ Дж. Після цього на покриття з композиційного зносостійкого матеріалу 90%ВК6 та 10%1М наносять металополімерний матеріал, попередньо армований порошком. Після полімеризації частину шару металополімерного матеріалу видаляють проточуванням до виступів шорсткості покриття з композиційного зносостійкого матеріалу 90%ВК6 та 10%1М.

UA 155984 U

Корисна модель належить до галузі машинобудування і ремонту машин, зокрема до способу зміцнення сталевих деталей, і може бути використана для способу їх захисту методом електроіскрового легування від гідроабразивного зносу.

У даний час для різних галузей промисловості (електроенергетики, паливної промисловості, чорної і кольорової металургії, космічної промисловості, хімічної і нафтохімічної промисловості, машинобудування і металообробки тощо), сільського та комунального господарства виготовляється, відновлюється і зміцнюється величезна кількість деталей. При цьому застосовуються різні технологічні методи як екологічно безпечні, так і такі, що негативно впливають на навколишнє середовище. Наприклад, при відновленні дискових робочих органів сільськогосподарських машин, виготовлених часто з листів сталей 65Г і 70Г з твердістю робочої зони дисків після термічної обробки HRC 35-45 при товщині леза 0,3-0,5 мм, можуть виконувати їх зміцнення, використовуючи наплавлення твердими і зносостійкими матеріалами, хіміко-термічну обробку (борування), зміцнення методом електроерозійної обробки, нанесення полімерних і композиційних матеріалів, плакування зносостійкою стрічкою, зміцнення накаткою і ін. [А.В. Шовкопляс. Дисковые рабочие органы борон: технологии изготовления и восстановления // Лесотехнический журнал. Технологии. Машины и оборудование. 2016. - № 1. - С. 203-211].

Відомо спосіб електроіскрового легування (ЕІЛ) металевої поверхні, тобто, процес перенесення матеріалу на оброблювану поверхню іскровим електричним розрядом [Лазаренко Н.И. Электроискровое легирование металлических поверхностей. - М.: Машиностроение, 1976. - 46 с.].

Спосіб ЕІЛ має ряд специфічних особливостей, однією з яких є те, що процес легування може відбуватися без перенесення матеріалу анода на поверхню катода і не створювати приросту матеріалу. Відбувається дифузійне насичення поверхні деталі складовими елементами (елементом) анода, наприклад при ЕІЛ графітовим електродом. Метод ЕІЛ графітовим електродом базується на процесі дифузії (насиченні поверхневого шару деталі вуглецем) і має певну схожість з різновидом хіміко-термічної обробки (ХТО) - цементацією. Порівняно з цементацією традиційним способом ЕІЛ графітовим електродом (ЦЕІЛ) не тільки має всі переваги порівнюваного методу, тобто, забезпечує зміцнення поверхні деталі при збереженні властивостей вихідного матеріалу деталі, але і попереджає її деформування.

Однак, однією з характерних особливостей методу ЕІЛ є обмеження по товщині формованого поверхневого шару. Недостатньо відомостей про технології, які вирішують проблему відновлення робочих поверхонь деталей зі зносом від 0,2 мм і вище. Крім цього, незважаючи на те, що ЕІЛ позитивно впливає на зносостійкість поверхневого шару, його застосування часто асоціюється зі збільшенням шорсткості поверхні виробів після ЕІЛ, нерівномірністю поверхневого зміцнення, негативним впливом електроіскрового розряду на утомні властивості виробів тощо.

Відомо спосіб відновлення поверхонь металевих деталей, що включає нанесення на зношену поверхню деталі покриття електроіскровим легуванням (ЕІЛ) металевим електродом, при якому покриття ЕІЛ наносять у режимах, що забезпечують задану шорсткість поверхні покриття, на отриману поверхню наносять принаймні один шар металополімерного матеріалу (МПМ), забезпечують полімеризацію нанесеного шару МПМ, після чого його піддають фінішній обробці [патент UA № 104664 С2, МПК В23Н 5/00, 2014].

Недоліками даного способу є:

- низька твердість металополімерних матеріалів;
- основне застосування способу - це відновлення деталей в нероз'ємних з'єднаннях (посадочних місць під підшипники, півмуфти та ін.);
- металополімерні матеріали добре працюють на стиск і значно гірше на зрушення, що негативно впливає на їх застосування для відновлення у деталей поверхонь тертя;
- зміна властивостей під час підвищення температури на поверхнях тертя та ін.

Відомо спосіб підвищення зносостійкості сталевих деталей шляхом поетапного зміцнення методом ЕІЛ їх поверхневого шару, який включає цементацію електроіскровим легуванням (ЦЕІЛ), алітування методом ЕІЛ алюмінієвим електродом і нанесення методом ЕІЛ зносостійкого покриття електродом-інструментом, виготовленим з матеріалу, вибраного з групи тугоплавких металів Ti, V, W і їх карбідів [патент UA № 136895 U, МПК В23Н 9/00, 2019].

У даному способі при енергії розряду 3,4 Дж для нержавіючої сталі 12×18Н10Т товщина шару підвищеної твердості становить 320-360 мкм, а мікротвердість зміцненого шару - 10000 МПа.

Недоліками даного способу є:

- недостатня товщина шару підвищеної твердості;

- невелика товщина покриття (до 0,2 мм);
- висока шорсткість покриття ($R_a=7,5$ мкм).

Зазначені недоліки знижують здатність деталей чинити опір зношуванню, надійність і довговічність їх роботи в агресивних середовищах.

5 Найближчим аналогом корисної моделі є спосіб формування покриття на зношувальних поверхнях деталей, що включає підготовку поверхні деталі, нанесення на неї комбінованого електроіскрового покриття, поверхнево-пластичну деформацію отриманого покриття і нанесення на нього металополімерного матеріалу. Перед нанесенням комбінованого електроіскрового покриття поверхню деталі шліфують до $R_a=0,5$ мкм. При формуванні комбінованого електроіскрового покриття спочатку проводять цементацію шліфованої поверхні деталі методом електроіскрового легування. Після виконують алітування цементованого шару алюмінієвим електродом з подальшим нанесенням на нього електроіскрового покриття електродом з твердого сплаву Т15К6. Далі поверхню сформованого комбінованого електроіскрового покриття піддають поверхнево-пластичній деформації методом обкатки кулькою. Після полімеризації металополімерним матеріалом, армованим при полімеризації порошком твёрдосплавної суміші ВК6, частину шару металополімерного матеріалу видаляють до виступів шорсткості покриття з твердого сплаву Т15К6 [Tarelnyk V., Konoplianchenko I., Gaponova O., Sarzhanov B. Assessment of Hydroabrasive Wear Resistance of Construction Materials with Functional Coatings, which are Formed by Resource-Saving and Environmentally Friendly Technologies. Key Engineering Materials. 2020. - Vol 864. - P. 265-277. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.864.265>].

Недоліками даного способу є:

- дуже складна технологія формування покриття;
- висока вартість використання технології;
- 25 - спосіб придатний тільки для деталей тіл обертання;
- недостатній захист сталевих поверхонь від гідроабразивного зношування.

В основу корисної моделі поставлена задача створити спосіб захисту сталевих деталей від гідроабразивного зносу, який би підвищив здатність деталей чинити опір зношуванню, гарантував би надійність і довговічність їх роботи в агресивних середовищах, був би екологічно безпечним і скоротив витрати на їх виготовлення.

Поставлена задача вирішується тим, що у способі захисту сталевих деталей від гідроабразивного зносу, що включає підготовку поверхонь - шліфовку сталевих деталей, нанесення комбінованого електроіскрового покриття - цементацію методом електроіскрового легування, алітування методом електроіскрового легування, згідно з корисною моделлю, на алітовану поверхню наносять електроіскрове покриття електродом-інструментом з композиційного зносостійкого матеріалу 90 % ВК6 та 10 % 1М при енергії розряду $W_p=0,13-3,4$ Дж, після цього на покриття з композиційного зносостійкого матеріалу 90 % ВК6 та 10 % 1М наносять металополімерний матеріал, попередньо армований порошком і після полімеризації частину шару металополімерного матеріалу видаляють проточуванням до виступів шорсткості покриття з композиційного зносостійкого матеріалу 90 % ВК6 та 10 % 1М.

Композиційний зносостійкий матеріал 90 % ВК6 та 10 % 1М, отриманий за допомогою порошкової металургії, складається з 10 % тонкодисперсної суміші 1М - 70 % Ni, 20 % Cr, 5% Si, 5 % В та 90 % суміші ВК6.

Металополімерний матеріал може бути армовано порошком у вигляді карбіду вольфраму WC.

Металополімерний матеріал може бути армовано порошком у вигляді нітриду цирконію ZnN.

Металополімерний матеріал може бути армовано у вигляді суміші порошків карбіду вольфраму WC та нітриду цирконію ZrN.

Порошки WC, ZrN та їх суміші додають в двокомпонентну епоксидну систему, наповнену феросиліконом марки Loctite 3478.

Концентрація армувальної речовини WC становить ~ 80 %.

Концентрація армувальної речовини ZrN становить ~ 80 %.

Концентрація армувальної речовини суміші порошків WC та ZrN становить 40 % WC та 40 % ZrN.

55 При нанесенні композиційного зносостійкого матеріалу 90 % ВК6 та 10 % 1М використовують енергію розряду $W_p=3,4$ Дж.

Деталі зі сталі 45 з покриттями, нанесеними способом, що заявляється, в послідовності: ЦЕІЛ → ЕІЛАІ → ЕІЛ (90 % ВК6 та 10 % 1М) → МПМ (80 % ZrN) зношуються на 76,7 % менше деталей без покриття, на 39,5 % менше порівняно з найближчим аналогом (ЦЕІЛ → ЕІЛАІ → ЕІЛТ15К6 → ОК → МПМ (армований ВК6) →ГД) і, відповідно, на 9,3 і 16,3 % менше деталей з

покриттями, сформованими в послідовності ЦЕІЛ → ЕІЛАІ → ЕІЛ (90 % ВК6 та 10 % 1М) → МПМ (40 % WC та 40 % ZrN) і ЦЕІЛ → ЕІЛАІ → ЕІЛ (90 % ВК6 та 10 % 1М) → МПМ (80 % WC).

5 Деталі зі сталі 12 × 18Н10Т з покриттями, нанесеними способом, що заявляється, в послідовності: ЦЕІЛ → ЕІЛАІ → ЕІЛ (90 % ВК6 та 10 % 1М) → МПМ (80 % ZrN), зношуються на 96,7 % менше деталей без покриття на 38,7 %, менше порівняно з аналогом (ЦЕІЛ → ЕІЛАІ → ЕІЛТ15К6 → ОК → МПМ (армований ВК6) → ПД) і, відповідно, на 6,5 і 9,7 %, менше чим з покриттями, сформованими в послідовності ЦЕІЛ → ЕІЛАІ → ЕІЛ (90 % ВК6 та 10 % 1М) → МПМ (40 % WC та 40 % ZrN) і ЦЕІЛ → ЕІЛАІ → ЕІЛ (90 % ВК6 та 10 % 1М) → МПМ (80 % WC).

10 Застосування способу захисту сталевих деталей від гідроабразивного зносу підвищує їх надійність і довговічність, є економічно безпечним, а також корисним з економічної точки зору через зменшення їх потрібної кількості, значно скорочує витрати на їх виготовлення.

Спосіб захисту сталевих деталей від гідроабразивного зносу здійснюють наступним чином.

15 Спочатку поверхню деталей шліфують до Ra=0,5 мкм, після чого формують електроіскрове покриття, здійснюючи цементацію шліфованої поверхні деталей методом електроіскрового легування, потім алітування цементованого шару алюмінієвим електродом з подальшим нанесенням на нього електроіскрового покриття електродом з композиційного зносостійкого матеріалу, отриманого за допомогою порошкової металургії, що складається з 10 % тонкодисперсної суміші 1М (70 % Ni, 20 % Cr, 5 % Si, 5 % В) та 90 % суміші ВК6. Далі поверхню сформованого комбінованого електроіскрового покриття піддають полімеризації металополімерним матеріалом, армованим при полімеризації порошком карбіду вольфраму WC (концентрація армувальної речовини WC становить ~ 80 %) і/або нітриду цирконію ZnN (концентрація армувальної речовини ZrN становить ~ 80 %), або їх суміші WC та ZnN (концентрація армувальної речовини суміші порошків WC та ZrN, становить 40 % WC та 40 % ZrN), причому порошки WC, ZrN та їх суміші додають в двокомпонентну епоксидну систему, наповнену феросиліконом марки Loctite 3478. Далі частину шару металополімерного матеріалу видаляють до виступів шорсткості покриття з композиційного зносостійкого матеріалу 90 % ВК6 та 10 % 1М.

Обґрунтування вибору матеріалу зразків для досліджень на стійкість проти гідроабразивного зносу.

30 Відповідно до [Лукьяненко В.М. Центрифуги.Справ. изд. / В.М. Лукьяненко, А.В. Таранец. - М.: Химия, 1988], залежно від навколишнього середовища застосовують такі матеріали ротора та кожуха центрифуг для очищення стічних вод, які в процесі роботи підлягають дуже великому гідроабразивному зношуванню:

35 1) нелеговані чорні метали: допускається обробка при температурі до 45 °С суспензій, що містять нейтральні та лужні солі, такі як нітрати натрію, кадмію, барію; анілінові барвники, солі кремнієвої, миш'якової та миш'яковистої кислот; сульфати та гідросульфати натрію, кальцію, магнію, цинку, барію, кальцію, кадмію;

40 2) корозійностійка сталь 12×18Н10Т (ГОСТ 5632-72), крім суспензій, перерахованих вище, допускається обробка при температурі не вище 70 °С, також суспензій, що містять: гідросульфат натрію, калію, кальцію; броміди та йодиди натрію та калію (до 30 °С і до 10 % мас.); солі міді всіх кислот, крім соляної; саліцилову кислоту (до 30 °С); сульфід металів; розчини сульфатів заліза та міді, що містять до 10 % сірчаної кислоти; ацетати алюмінію, міді, свинцю; фосфати (гідрофосфати) натрію, калію, кальцію, барію, стронцію, магнію, цинку (до 30 °С).

45 Таким чином, задачею дослідження є вдосконалення технології виготовлення та ремонту поверхонь деталей зі сталі 45 і корозійно-стійкої нержавіючої сталі 12×18Н10Т, за рахунок застосування нових екологічно безпечних технологій формування їх поверхневих шарів та вибору найбільш стійких проти гідроабразивного зносу шляхом проведення порівняльних випробувань зразків, виготовлених із цих металів та зміцнених різними способами.

50 Згідно з [Tarelnyk, V.B., Gaponova, O.P., Konoplianchenko, Ye.V., Martsynkovskyy, V.S., Tarelnyk, N.V., Vasilenko, O.O. Improvement of quality of the surface electroerosive alloyed layers by the combined coatings and the surface plastic deformation. I. Features of formation of the combined electroerosive coatings on special steels and alloys, (2019) MetallofizikaiNoveishieTekhnologii, 41 (1). - P. 47-69. <https://doi.org/10.15407/mfint.41.01.0047>], легування електродом з матеріалу складу 90 % ВК6 та 10 % 1М дозволяє формувати поверхневий шар з мікротвердістю до 14200 МПа.

55 Нижче представлені результати проведення досліджень зразків зі сталі 45 і сталі 12×18Н10Т на гідроабразивний знос.

60 Апробацію способу формування комбінованих електроерозійних покриттів виконували на зразках з вуглецевої конструкційної якісної сталі 45 ферито-перлітного класу, жароміцної, корозійностійкої конструкційної з аустенітною кристалічною структурою сталі 12×18Н10Т.

Для проведення порівняльних досліджень проти гідроабразивного зносу в рамках способу, що заявляється, виготовляли сталеві зразки, розміром 15×15×8 мм, на які наносили покриття електродами-інструментами на установці "Елітрон-52А" згідно з № 3-6 (Таблиця 1).

Таблиця 1

Зразки сталі 45 і сталі 12 × 18Н10Т для порівняльних випробувань проти гідроабразивного зношування

№ зразка	Вид зміцнення
1	Без покриття
2	ЦЕІЛ → ЕІЛАІ → ЕІЛТ15К6 → обкатка кулькою (ОК) → МПМ (армований ВК6)
3	ЦЕІЛ → ЕІЛАІ → ЕІЛ (90 % ВК6 та 10 % 1М)
4	ЦЕІЛ → ЕІЛАІ → ЕІЛ (90 % ВК6 та 10 % 1М) → МПМ, армований порошком 80 % WC
5	ЦЕІЛ → ЕІЛАІ → ЕІЛ (90 % ВК6 та 10 % 1М) → МПМ, армований порошком 80 % ZrN
6	ЦЕІЛ → ЕІЛАІ → ЕІЛ (90 % ВК6 та 10 % 1М) → МПМ, армований порошком 40 % WC та 40 % ZrN

5

Для порівняння стійкості зразків проти гідроабразивного зносу використовували зразки з сталі 45 і сталі 12×18Н10Т з покриттям, сформованим, згідно з найближчим аналогом (№ 2 Таблиця 1). При цьому електроіскрове легування шліфованої поверхні виконували на установці "Елітрон-52А" графітовим електродом МПГ-7 при енергії розряду $W_p=3,4$ Дж. Далі на цій же установці проводили алітування цементованого шару алюмінієвим електродом (три проходи при $W_p=3,4$ Дж) і нанесення покриття електродом з твердого сплаву Т15К6, виконуючи два проходи при $W_p=0,9$ Дж і два проходи при $W_p=3,4$ Дж. Поверхнево-пластичну деформацію виконували за три проходи методом обкатки кулькою з питомим зусиллям вигладжування $P=2500$ МПа. На покриття з твердого сплаву Т15К6, ретельно втираючи, наносили МПМ, попередньо армований порошком у вигляді твердосплавної суміші ВК6, доданої в двокомпонентну епоксидну систему, наповнену ферросиліконом марки Loctite 3478 при концентрації армуючої речовини ~ 60 %. Після полімеризації шар МПМ проточували до виступів шорсткості покриття з твердого сплаву Т15К6.

10

15

20

25

Нанесення електроіскрового покриття на зразки (№ 3-6 Таблиця 1) виконували електродом-інструментом з композиційного зносостійкого матеріалу 90 % ВК6 та 10 % 1М на установці "Елітрон-52А" при $W_p=3,4$ Дж. На покриття з композиційного зносостійкого матеріалу 90 % ВК6 та 10 % 1М, ретельно втираючи, наносили МПМ, попередньо армований порошком у вигляді карбіду вольфраму (№ 4, Таблиця 1), нітриду цирконію (№ 5 Таблиця 1) і їх суміші (№ 6, Таблиця 1), доданих в двокомпонентну епоксидну систему, наповнену ферросиліконом марки Loctite 3478 при концентрації армуючої речовини, відповідно ~ 80 % WC; 80 % ZrN і 40 % WC та 40 % ZrN. Частину шару металополімерного матеріалу видаляли проточуванням до виступів шорсткості покриття з композиційного зносостійкого матеріалу 90 % ВК6 та 10 % 1М.

30

Слід відмітити, що композиційний зносостійкий матеріал 90 % ВК6 та 10 % 1М можна наносити при енергії розряду $W_p=0,13-3,4$ Дж. Зменшення енергій розряду нижче $W_p=0,13$ Дж недоцільно в зв'язку з низькою продуктивністю. Збільшення енергій розряду вище, ніж $W_p=3,4$ Дж призводить до різкого зниження суцільності покриття.

35

Для проведення випробувань зразків на зносостійкість проти гідроабразивного зношування було розроблено конструкцію та виготовлено дослідну установку. Як абразивний матеріал використовували водну суміш піску з розміром частинок 0,1-0,5 мм і концентрацією 100 г/л. Дослідження проводили протягом 24 годин.

Результати досліджень

Оцінка гідроабразивної зносостійкості зразків із сталі 45.

В результаті проведених досліджень встановлено, що найінтенсивніше зношуються зразки без покриття (Таблиця 2).

40

Таблиця 2

Результати досліджень гідроабразивного зношування зразків зі сталі 45 з різними покриттями

№ зразка	Вид покриття	Величина зносу, Δm, мг/год		
		8 год.	16 год.	24 год.
1	Без покриття	25	51	76
2	ЦЕІЛ → ЕІЛАІ → ЕІЛТ15К6 → обкатка кулькою (ОК) → МПМ (ВК6) → пластичне деформування (ПД)	17	38	60
3	ЦЕІЛ → ЕІЛАІ → ЕІЛ (90 % ВК6 та 10 % 1М)	15	36	55
4	ЦЕІЛ → ЕІЛАІ → ЕІЛ (90 % ВК6 та 10 % 1М) → МПМ (80 % WС)	13	31	50
5	ЦЕІЛ → ЕІЛАІ → ЕІЛ (90 % ВК6 та 10 % 1М) → МПМ (40 % WС та 40 % ZrN)	11	28	47
6	ЦЕІЛ → ЕІЛАІ → ЕІЛ (90 % ВК6 та 10 % 1М) → МПМ (80 % ZrN)	10	25	43

5 Для сталі 45 найкращі результати з гідроабразивної зносостійкості показали зразки з покриттям, сформованим в послідовності: ЦЕІЛ → ЕІЛАІ → ЕІЛ (90 % ВК6 та 10 % 1М) → МПМ (80 % ZrN), знос яких на 76,7 % менше зразків без покриття, на 39,5 % менше порівняно з найближчим аналогом і, відповідно, на 9,3 і на 16,3 %, менше сформованих в послідовності ЦЕІЛ → ЕІЛАІ → ЕІЛ (90 % ВК6 та 10 % 1М) → МПМ (40 % WС та 40 % ZrN) і сформованим в послідовності ЦЕІЛ → ЕІЛАІ → ЕІЛ (90 % ВК6 та 10 % 1М) → МПМ (80 % WС).

10 Оцінка гідроабразивної зносостійкості зразків із сталі 12×18Н10Т
 При проведенні порівняльних досліджень зразків із сталі 12×18Н10Т на гідроабразивний знос протягом 24 годин характер розподілу їх за ранжиром, згідно з стійкістю проти гідроабразивного зносу співпадає зі зносом зразків зі сталі 45. Тут також найінтенсивніше зношуються зразки без покриття (Таблиця 3).

Таблиця 3

Результати досліджень гідроабразивного зношування зразків зі сталі 12 × 18Н10Т з різними покриттями

№ зразка	Вид покриття	Величина зносу, Δm, мг/год		
		8 год.	16 год.	24 год.
1	Без покриття	19	40	61
2	ЦЕІЛ → ЕІЛАІ → ЕІЛТ15К6 → обкатка кулькою (ОК) → МПМ (ВК6) → пластичне деформування (ПД)	17	35	43
3	ЦЕІЛ → ЕІЛАІ → ЕІЛ (90 % ВК6 та 10 % 1М)	12	25	39
4	ЦЕІЛ → ЕІЛАІ → ЕІЛ (90 % ВК6 та 10 % 1М) → МПМ (80 % WС)	11	23	34
5	ЦЕІЛ → ЕІЛАІ → ЕІЛ (90 % ВК6 та 10 % 1М) → МПМ (40 % WС та 40 % ZrN)	10	21	33
6	ЦЕІЛ → ЕІЛАІ → ЕІЛ (90 % ВК6 та 10 % 1М) → МПМ (80 % ZrN)	9	19	31

15 Для сталі 12×18Н10Т найкращі результати з гідроабразивної зносостійкості показали зразки з покриттям, сформованим в послідовності: ЦЕІЛ → ЕІЛАІ → ЕІЛ (90 % ВК6 та 10 % 1М) → МПМ (80 % ZrN), знос яких на 96,7 % менше зразків без покриття, на 38,7 % менше порівняно з аналогом і, відповідно, на 6,5 і на 9,7 %, менше сформованих в послідовності ЦЕІЛ → ЕІЛАІ → ЕІЛ (90 % ВК6 та 10 % 1М) → МПМ (40 % WС та 40 % ZrN) і сформованим в послідовності ЦЕІЛ → ЕІЛАІ → ЕІЛ (90 % ВК6 та 10 % 1М) → МПМ (80 % WС).

Таким чином можна зробити висновки:

25 1. Для захисту сталевих деталей від гідроабразивного зносу можна рекомендувати покриття, нанесені в послідовності ЦЕІЛ → ЕІЛАІ → ЕІЛ (90 % ВК6 та 10 % 1М) → МПМ, армовані порошком карбіду вольфраму або нітриду цирконію, або їх сумішшю.

2. Кращий спротив гідроабразивному зношуванню мають зразки з корозійностійкої нержавіючої сталі 12×18Н10Т, знос яких порівняно із зразками зі сталі 45 менший на 37,3 %.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

1. Спосіб захисту сталевих деталей від гідроабразивного зносу, що включає підготовку поверхонь - шліфовку сталевих деталей, нанесення комбінованого електроіскрового покриття - цементацію методом електроіскрового легування, алітування методом електроіскрового легування, який **відрізняється** тим, що на алітовану поверхню наносять електроіскрове покриття електродом-інструментом з композиційного зносостійкого матеріалу 90 % ВК6 та 10 % 1М при енергії розряду $W_p=0,13-3,4$ Дж, після цього на покриття з композиційного зносостійкого матеріалу 90 % ВК6 та 10 % 1М наносять металополімерний матеріал, попередньо армований порошком, і після полімеризації частину шару металополімерного матеріалу видаляють проточуванням до виступів шорсткості покриття з композиційного зносостійкого матеріалу 90 % ВК6 та 10 % 1М.
2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що композиційний зносостійкий матеріал 90 % ВК6 та 10 % 1М, отриманий за допомогою порошкової металургії, складається з 10 % тонкодисперсної суміші 1М - 70 % Ni, 20 % Cr, 5 % Si, 5 % B та 90 % суміші ВК6.
3. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що як армований порошок використовують порошки у вигляді карбиду вольфраму WC, нітриду цирконію ZrN і їх суміші, які додають в двокомпонентну епоксидну систему, наповнену феросиліконом марки Loctite 3478.
4. Спосіб за п. 3, який **відрізняється** тим, що концентрація армувальної речовини WC становить ~ 80 %.
5. Спосіб за п. 3, який **відрізняється** тим, що концентрація армувальної речовини ZrN становить ~ 80 %.
6. Спосіб за п. 3, який **відрізняється** тим, що концентрація армувальної речовини суміші порошоків WC та ZrN становить 40 % WC та 40 % ZrN.
7. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що при нанесенні композиційного зносостійкого матеріалу 90 % ВК6 та 10 % 1М використовують енергію розряду $W_p=3,4$ Дж.