



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **156087** (13) **U**  
(51) МПК (2024.01)  
**B23H 9/00**  
**B23H 5/00**  
**F16B 17/00**  
**C23C 10/00**

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

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: <b>u 2023 04530</b>	(72) Винахідник(и): <b>Гапонова Оксана Петрівна (UA), Тарельник Наталія В'ячеславівна (UA), Тарельник В'ячеслав Борисович (UA), Томаш Мосціцький (PL), Охріменко Віктор Олександрович (UA), Жиленко Олександр Іванович (UA), Тягно Сергій Вячеславович (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>25.09.2023</b>	(73) Володілець (володільці): <b>СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007 (UA)</b>
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: <b>09.05.2024</b>	(74) Представник: <b>ГУДКОВ СЕРГІЙ МИКОЛАЙОВИЧ</b>
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: <b>08.05.2024, Бюл.№ 19</b>	

## (54) СПОСІБ СКЛАДАННЯ НЕРУХОМОГО З'ЄДНАННЯ ВАЛ-МАТОЧИНА

### (57) Реферат:

Спосіб складання нерухомого з'єднання вал-маточина включає формування покриття принаймні на одній із сполучних поверхонь деталей, що з'єднуються, де на внутрішній поверхні маточини у зонах, прилеглих до її торців, методом електроіскрового легування формують кільцеподібний дифузійний шар з м'якого антифрикційного матеріалу. Товщину шару з м'якого антифрикційного матеріалу і шорсткість поверхні забезпечують за рахунок вибору режимів електроерозійного легування, матеріалу електрода і способу нанесення шару з м'якого антифрикційного матеріалу. Додатково після формування кільцеподібного дифузійного шару з м'якого антифрикційного матеріалу здійснюють його подальшу обробку поверхневим пластичним деформуванням.

UA 156087 U



Корисна модель належить до машинобудування, зокрема стосується виготовлення роторів турбін, компресорів і насосів, валів із зубчастими колесами редукторів, осей і валів машин та ін.

Одним з найбільш поширених вузлів у механізмах і машинах є пресове з'єднання або з'єднання з гарантованим натягом. Найбільш характерними випадками відмов роботи пресових і пресово-шпонкових з'єднань є порушення міцності сполучення, фретинг-утомні пошкодження і полонки внаслідок втоми. Тому підвищення працездатності цих сполук є одним з найважливіших завдань забезпечення надійності та довговічності деталей машин. Нерухомі з'єднання сполучених деталей характеризуються неможливістю їх взаємного переміщення. Нерухомість з'єднання забезпечується натягом. Міцність з'єднання визначається посадкою і квалітетами точності. Нерухомі з'єднання можуть бути виконані по пресових посадках (гарантований натяг) або перехідних посадках (натяг або зазор). Збірка нерухомих поверхонь може здійснюватися запресовуванням валу в отвір, нагріванням деталі, яка має отвір і охоплює вал, або охолодженням валу [Зуев А.А., Гуревич Д.Ф. Технологія сільськогосподарського машиностроєння. - М.: Колос, 1980 р. С. 219-220]. Особливість пресових з'єднань полягає в тому, що деталі таких з'єднань ще до прикладання робочих навантажень знаходяться в напруженому стані, спричиненому наявністю натягу на посадочних поверхнях. Підсумовування робочих напружень і напружень від натягу може привести до значної концентрації напружень в окремих місцях сполучення. Зниження межі витривалості валу в підматочинній частині відбувається під торцями маточини, у результаті концентрації напружень і процесу фретинг-утоми. Зменшити вплив цих факторів можна шляхом зниження загальної жорсткості маточини, і особливо, у зоні її торців, наприклад, шляхом запресовування по торцях маточини кілець з більш м'якого матеріалу у прямокутні канавки на посадковому діаметрі [Балацкий Л.Т. Прочность прессовых соединений. - К.: Техніка, 1982 р. С. 123-124, 128-129], Фіг. 1).

На Фіг. 1 показано пресове з'єднання "маточина 1 - вал 3" зі вставними кільцями 2.

Висота кільця (t) повинна підбиратися з урахуванням натягу в з'єднанні і переданого навантаження, від якого залежить амплітуда відносного прослизання маточини 1 і валу 3. Наявність кілець 2 з більш піддатливих матеріалів у зонах максимальних контактних тисків згладжує пік напружень і зменшує ступінь пошкоджуваності при фретинг-корозії. Результати випробувань показали, що межа витривалості зразків діаметром  $d=20$  мм із сталі 40Х з маточинами діаметром  $D=37$  мм і довжиною 90 мм, що мають кільця з червоної міді М2, підвищується при чистому згині з частотою 50 Гц у 2 рази (з 150 до 300 МПа).

Однак далі зазначається, що при значних навантаженнях пресового з'єднання і недостатній ширині кільця, у результаті обминання контактної поверхні кільця, торець маточини може переміститися в точку А' (Фіг. 2). Якщо це станеться, то межа витривалості такого з'єднання може знизитися, порівняно із сполученням без кілець, так як жорсткість маточини у зоні торців збільшиться.

Відомий спосіб електроерозійного легування (ЕЕЛ), за допомогою якого можна змінити твердість металевої поверхні: підвищити твердість шляхом модифікування поверхні твердими матеріалами, при цьому можна вводити легувальні елементи у поверхневий шар з навколишнього середовища або з матеріалу анода; знизити твердість шляхом модифікування поверхні м'якими матеріалами; підвищити твердість при обробці незагартованого матеріалу, але такого, який володіє достатньою загартованістю, застосовуючи імпульси з більшою енергією або тривалістю, щоб досягти більшого розігрівання металу на глибину, більше сумарної товщини нанесеного і дифузійного шарів [Лазаренко Н.И. Электроискровое легирование металлических поверхностей. - М.: Машиностроение, 1976 р. С. 19].

Для підматочинної частини валу, порівняно з маточиною, є менші можливості варіювання конструкції. Одним з найбільш поширених способів збільшення опору втоми є збільшення діаметру підматочинної частини з плавним переходом до потовщення від основного діаметру. Тут можуть мати місце три випадки: торці маточини нависають над галтелями (Фіг. 3), торці маточини розташовані урівень з кінцем підматочинної частини ( $l_2=0$ ) і торці маточини не доходять до кінця підматочинної частини ( $l_2$  має від'ємне значення) [Л.Т. Балацкий. Прочность прессовых соединений. - К.: Техніка, 1982 р. С. 129-130].

Для істотного підвищення несучої спроможності пресових з'єднань останнім часом широкий розвиток отримав напрямок, пов'язаний з введенням в зону контакту м'яких і твердих прошарків. У [Л.Т. Балацкий. Прочность прессовых соединений. - К.: Техніка, 1982 р. С. 141] автор наводить результати робіт А. Тума і Ф. Вундерліха, в яких вказується на значний ефект підвищення межі витривалості валів з напруженими деталями шляхом цементації. Було встановлено, що на межу витривалості зразків діаметром 12 мм з запресованими втулками впливало жолоблення їх при гартуванні. Після застосування заходів, що попереджають жолоблення, межа витривалості підвищилася з 137,3 до 412,0 МПа. За даними Е. Лера межа

витривалості цементованих зразків діаметром 60 мм у запресовуванні підвищилася більш ніж у два рази.

Аналіз літературних джерел показує відсутність єдиного механізму захисту від фретинг-корозії. Встановлено, що фретинг-корозію деталей можна зменшити або повністю виключити, змінюючи якісні параметри їх поверхневих шарів, наприклад, нанесенням корозійностійких захисних покриттів необхідної твердості, товщини і коефіцієнта тертя, міцно з'єднаних з основою деталі і таких, що не знижують їх утомну міцність.

Одним з найбільш перспективних способів формування поверхневих шарів деталей з необхідними властивостями є метод електроіскрового легування (ЕІЛ). Метод має ряд специфічних особливостей, однією з яких є те, що процес легування може відбуватися без перенесення матеріалу анода на поверхню катода і не утворювати приросту матеріалу, наприклад, при ЕІЛ графітовим електроодом [Лазаренко Н.И. Электроискровое легирование металлических поверхностей. - М.: Машиностроение, 1976. - с. 4]. Спосіб ЕІЛ графітовим електроодом заснований на процесі дифузії (насиченні поверхневого шару деталі вуглецем) і має певну схожість з різновидом хіміко-термічної обробки - цементацією. Порівняно зі звичайною цементацією, спосіб цементації сталевих деталей ЕІЛ не тільки має всі переваги порівнюваного методу, тобто зміцнення поверхні деталі здійснюється при збереженні властивостей її вихідного матеріалу, але, крім того, не відбувається її викривлення (жолоблення), а малогабаритні установки дозволяють виконувати зміцнення на будь-якому наявному обладнанні. Продуктивність процесу при цьому становить 1-5 хв/см<sup>2</sup>.

При ЕІЛ графітовим електроодом зміцнення поверхні деталі відбувається за рахунок дифузійно-гартівних процесів, які полягають у локальному насиченні її вуглецем, при досить високій температурі (до 10000 °С) з наступним швидким охолодженням до практично кімнатної температури самої деталі. Цементацію сталевих деталей електроіскровим легуванням (ЦЕІЛ) можна виділити в окремий напрям, що дозволяє формувати на деталях машин поверхневі шари підвищеної зносостійкості без зміни вихідного розміру деталі [Патент UA № 82948 МПК (2006) C23C 8/00 Спосіб цементації сталевих деталей електроерозійним легуванням / Марцинковський В.С., Тарельник В.Б., Білоус А.В.; заявл. 13.09.2006 р.; опубл. 26.05.2008 р., Бюл. № 10]. При ЦЕІЛ сталевих деталей товщина зміцненого шару залежить від енергії розряду і часу легування (продуктивності процесу).

Зі збільшенням енергії розряду і часу легування товщина зміцненого шару збільшується. При цьому зростає і шорсткість поверхні. Так при ЕІЛ вуглецем середньовуглецевої легованої сталі 40X (Ra=0,5 мкм) з продуктивністю 5 хв/см<sup>2</sup> при енергії розряду 6,8 Дж товщина шару підвищеної твердості складає більше 1,15 мм. Шорсткість поверхні при цьому відповідає Ra=11,7-14,0 мкм.

Для зниження шорсткості поверхні після ЦЕІЛ застосовують, як правило, методи поверхневого пластичного деформування (ППД). Серед методів ППД особливої уваги заслуговують: обкатування кулькою, роликком та ультразвукове зміцнення - метод безабразивної ультразвукової фінішної обробки (БУФО). Незважаючи на те, що подальша обробка БУФО значно знижує шорсткість поверхні, для багатьох деталей машин це є недостатнім.

Найбільш близьким аналогом корисної моделі є спосіб виготовлення нерухомого з'єднання типу вал-маточина сталевих деталей (варіанти) [патент України № 103098. МПК (2013.01) B23H 9/00 B23H 5/00 F16B 4/00 F16B 17/00 C23C 10/00.], в якому перший варіант включає формування покриття методом електроіскрового легування, принаймні, на одній із сполучних поверхонь деталей, що з'єднуються, з подальшою їх збіркою, при якому на внутрішній поверхні маточини в зонах, прилеглих до її торців, методом електроіскрового легування формують кільцеподібний дифузійний шар, при цьому товщину нанесеного шару з м'якого антифрикційного матеріалу і шорсткість поверхні забезпечують за рахунок вибору режимів електроерозійного легування, матеріалу електрода і способу нанесення шару м'якого антифрикційного матеріалу.

Недоліком існуючого способу, перший варіант, є те, що після нанесення на внутрішню поверхню маточини у зонах, прилеглих до її торців, методом електроіскрового легування кільцеподібного дифузійного шару з міді або олов'яної бронзи не проводиться обробка поверхневим пластичним деформуванням, що призводить до виникнення у поверхневому шарі розтягуючих залишкових напружень і зниження втомної міцності маточини.

У [Тарельник В.Б. Управление качеством поверхностных слоев комбинированным электроэрозионным легированием. Сумы. МакДен, 2002. С. 324] проводили дослідження впливу м'якого антифрикційного матеріалу міді і комбінованого покриття мідь + хром, нанесених методом електроіскрового легування, на залишкові напруження у поверхневих шарах сталі 45, а

також втомну міцність. На Фіг. 4 відображені результати вимірювання осьових залишкових напружень у поверхневих шарах сталі 45 з електроерозійним (теж, що і електроіскровим) покриттям з міді та комбінованих покриттів мідь + хром, а також впливу ППД на величину та знак цих напружень.

5 ЕІЛ сталі 45 міддю призводить до формування у її поверхневому шарі розтягувальних напружень величиною до 170 МПа і на відстані від поверхні до 0,1 мм.

Нанесення на сталь 45 комбінованих електроіскрових покриттів (КЕІП) мідь + хром приведе до зростання як величини напружень, так і відстані, відповідно до 210 МПа і 0,15 мм.

10 У результаті зміцнення ППД кулькою зразків після ЕІЛ Cu і Cu + Cr деформаційні криві значно змінюються, тому що деформації мають від'ємний знак (Фіг. 4), що визнає належність у поверхневому шарі напружень стискування.

15 Визнано, що застосування як попереднього покриття з м'якого антифрикційного металу міді знижує величину розтягувальних напружень при ЕІЛ твердим зносостійким металом хромом з 250 МПа до 210 МПа. Подальше ППД як м'яких антифрикційних, так и КЕІП формує у поверхневому шарі напруження стискування, які повністю нейтралізують розтягувальні напруження, які створені під час ЕІЛ.

20 Межа витривалості натурних зразків з покриттям з м'якого антифрикційного металу міді, нанесеного методом ЕІЛ і наступне ППД (обкатка кулькою) знаходиться на рівні зразків без покриття, тому даний комплекс технологій, що зміцнюють, можна пропонувати до практичного використання.

В основу корисної моделі поставлена задача підвищення утомної міцності валів нерухомих з'єднань.

25 Поставлена задача вирішується тим, що у способі складання нерухомого з'єднання вал-маточина, який включає формування покриття принаймні на одній із сполучних поверхонь деталей, що з'єднуються, де на внутрішній поверхні маточини у зонах, прилеглих до її торців, методом електроіскрового легування формують кільцеподібний дифузійний шар з м'якого антифрикційного матеріалу, при цьому товщину шару з м'якого антифрикційного матеріалу і шорсткість поверхні забезпечують за рахунок вибору режимів електроерозійного легування, матеріалу електрода і способу нанесення шару з м'якого антифрикційного матеріалу, згідно з 30 корисною моделлю, додатково після формування кільцеподібного дифузійного шару з м'якого антифрикційного матеріалу здійснюють його подальшу обробку поверхневим пластичним деформуванням.

35 Завдяки тому, що після нанесення на внутрішню поверхню маточини у зонах прилеглих до її торців, методом електроіскрового легування кільцеподібного дифузійного шару з міді або олов'яної бронзи проводять їх обробку поверхневим пластичним деформуванням, у поверхневому шарі виникають стискаючі залишкові напруження і тим самим, підвищується його втомна міцність.

40 Спосіб спрямований на вирішення технічної задачі підвищення утомної міцності валів нерухомих з'єднань, а вирішення задачі ґрунтується на загальному принципі, тобто, на отриманні якісного зносостійкого шару з необхідною шорсткістю і який піддається стискаючим залишковим напруженням принаймні, на одній із сполучених поверхонь методом електроерозійного легування з наступною обробкою поверхневим пластичним деформуванням.

45 Корисна модель пояснюється графічними зображеннями, де на Фіг. 1 зображена схема пресового з'єднання з вставними кільцями, де маточина 1, вставні кільця 2, вал 3; на Фіг. 2 зображена схема маточини з дифузійним шаром; на Фіг 3 зображена схема пресового з'єднання зі збільшеним діаметром підматочної частини; на Фіг. 4 відображені результати вимірювання осьових залишкових напружень у поверхневих шарах сталі 45 з електроерозійним покриттям з міді та комбінованих покриттів мідь + хром, а також впливу ППД на величину та знак цих напружень.

50 Суть корисної моделі пояснюється прикладами.

Приклад.

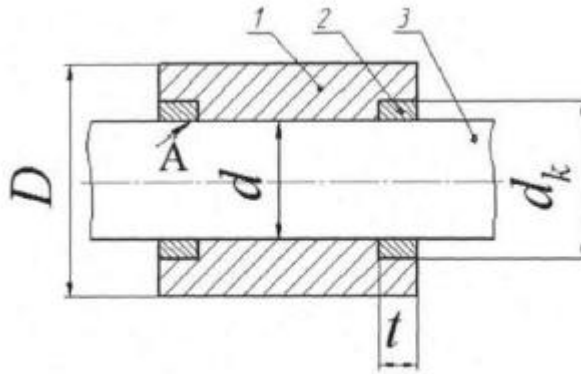
55 На внутрішній поверхні маточини Ø100xØ80x50мм зі сталі 45 у зонах, прилеглих до її торців методом електроіскрового легування на установці моделі «УІЛ-8А» при енергії розряду  $W_p=0,2$  Дж і продуктивності  $1 \text{ см}^2/\text{хв}$  формують кільцеподібний дифузійний шар шириною 6 мм з м'якого антифрикційного матеріалу міді, при цьому товщина шару складає 0,05 мм (50 мкм) і шорсткість поверхні  $R_z = 12 \text{ мкм}$ . Згідно з [Тарельник В.Б. Управление качеством поверхностных слоев комбинированным электроэрозионным легированием. Сумы. МакДен, 2002 р. С. 324] ЕІЛ сталі 45 міддю призводить до формування у її поверхневому шарі розтягувальних напружень на відстані до 0,1 мм від поверхні та максимальною величиною на поверхні до 170 МПа. Після ЕІЛ

сформоване покриття з міді обробляють обкатуванням кулькою з питомим зусиллям  $R_{cp} = 750$  МПа.

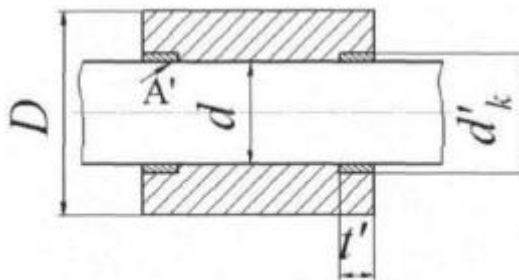
- Після обкатування кулькою шорсткість поверхневого шару знизилась з  $Rz = 12\text{мкм}$  і  $Ra \sim 2\text{мкм}$  до  $Ra = 0,5\text{мкм}$ . Наступне поверхнєве пластичне деформування (ППД) обкаткою шариком міді формує у поверхневому шарі сприятливі стискаючі напруження, які повністю нейтралізують розтягуючі напруження утворені ЕІЛ.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

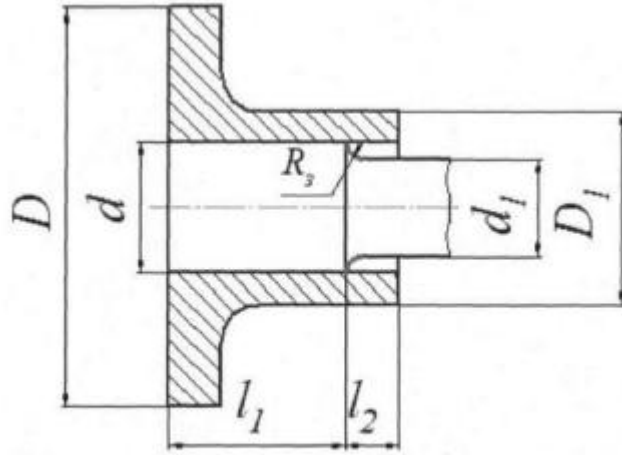
- 10 Спосіб складання нерухомого з'єднання вал-маточина, який включає формування покриття принаймні на одній із сполучних поверхонь деталей, що з'єднуються, де на внутрішній поверхні маточини у зонах, прилеглих до її торців, методом електроіскрового легування формують кільцеподібний дифузійний шар з м'якого антифрикційного матеріалу, при цьому товщину шару з м'якого антифрикційного матеріалу і шорсткість поверхні забезпечують за рахунок вибору режимів електроерозійного легування, матеріалу електрода і способу нанесення шару з м'якого антифрикційного матеріалу, який **відрізняється** тим, що додатково після формування кільцеподібного дифузійного шару з м'якого антифрикційного матеріалу здійснюють його подальшу обробку поверхневим пластичним деформуванням.



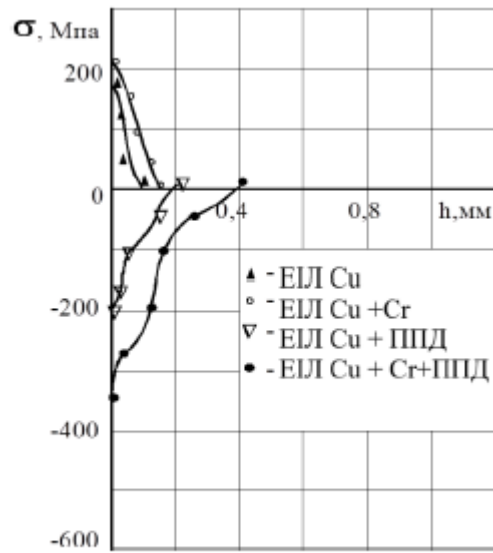
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4