



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 82158

(13) C2

(51) МПК (2006)

C22C 1/00

C22C 1/04

C22C 1/05

C22C 1/10

C22C 9/00

C22C 9/02

C22C 9/08

C22C 30/00

C22C 33/02

C22C 38/16

B22F 1/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) АНТИФРИКЦІЙНИЙ ЗНОСОСТІЙКИЙ ПОРОШКОВИЙ МАТЕРІАЛ НА ОСНОВІ ЗАЛІЗА

1	2
(21) а200612640	US, 1 974 173, А, 18.09.1934
(22) 01.12.2006	US, 4 344 795, А, 17.08.1982
(24) 11.03.2008	Федорченко И.М., Пугина Л.И. Композиционные
(72) КОСТОРНОВ АНАТОЛІЙ ГРИГОРОВИЧ, UA, ФУЩИЧ ОЛЬГА ІВАНІВНА, UA, ЧЕВИЧЕЛОВА ТЕТЯНА МИХАЙЛІВНА, UA, КОСТЕНКО ОЛЕКСІЙ ДМИТРІЙОВИЧ, UA	спеченные антифрикционные материалы. - К.: Наукова думка, 1980.- С.38-40, 42-47, 63-68, 78- 91,108-119,150-188, 238-259
(73) ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА ІМ.І.М.ФРАНЦЕВИЧА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ, UA	(57) Антифрикційний зносостійкий порошковий матеріал на основі заліза, що містить мідь і бор, який <b>відрізняється</b> тим, що він додатково містить олово, фосфор і свинець при такому співвідношенні інгредієнтів, мас. %:
(56) SU, 481 653, А, 25.08.1975, Бюл. 31	мідь 25,0-50,0
SU, 628 362, А, 15.10.1978	олово 2,0-9,0
SU, 905 313, А, 15.02.1982	фосфор 0,8-1,2
SU, 990 869, А, 23.01.1983	бор 0,8-1,2
SU, 1 578 927, А1, 15.03.1989	свинець 5,0-25,0
UA, 47 544, C2, 15.07.2002	залізо решта.
UA, 56 743, C2, 15.05.2003	
RU, 2 006 511, C1, 30.01.1994	
RU, 2 040 574, C1, 25.07.1995	
RU, 2 170 281, C2, 20.01.2001	
DE, 2 150 155, А, 23.11.1972	
EP, 0 125 442, А1, 21.11.1984	
JP, 56-020144, А, 25.02.1981	
JP, 58-130254, А, 03.08.1983	

Винахід стосується області матеріалознавства, зокрема, до розробки антифрикційних зносостійких порошкових матеріалів на основі заліза, призначених для виготовлення опор ковзання, які використовуються у вузлах тертя без мастила з абразивним

середовищем при підвищених тисках (10,0МПа) і значних швидкостях ковзання (6,0м/с).

Аналогом цього винаходу є антифрикційний матеріал на основі заліза (заявка Японії №61 - 11308, кл. С 22 С 38/16, 1986.) наступного хімічного складу, мас. %:

Мідь 36,0

(13) C2

(11) 82158

(19) UA

Цинк	9,0
Бор	1,0
Залізо	решта

Недоліком цього матеріалу є те, що при експлуатації в умовах сухого тертя у вузлах тертя з абразивним середовищем під тиском 7,5МПа і при швидкості ковзання 6,0м/с він непрацездатний, а абразивна його стійкість при швидкості 4,0м/с і тискові 1,0МПа мала і складає 300мкм/км.

Прототипом винаходу, що заявляється, є найбільш близький до нього по технічній суті зносостійкий порошковий матеріал на основі заліза (А. с. №1578927, В 22 F 1/00, С 22 С 38/16, зареєстроване у Державному реєстрі винаходів СРСР 15 березня 1990р. наступного хімічного складу, мас. %:

Мідь	24,0-40,0
Цинк	6,0-10,0
Бор	0,8-1,2
Фтористий алюміній	0,1-1,3
Залізо	решта

Однак і цьому матеріалові властиві недоліки. Коефіцієнт тертя і знос матеріалу прототипу при тискові 5,0-7,5МПа і швидкості 6,0м/с у вузлах тертя з абразивним середовищем порівняно високі і відповідно складають 0,27-0,29; 70,0-95,0мкм/км. Його абразивна стійкість при 4м/с і тискові 1,0МПа хоча вища, ніж в аналога, але є ще зависока і складає 140мкм /км.

Задачею винаходу "Антифрикційний зносостійкий порошковий матеріал на основі заліза" є підвищення абразивної стійкості і несучої здатності, а також зниження коефіцієнту тертя антифрикційного порошкового матеріалу при роботі без мастила в умовах значних тисків і підвищених швидкостях ковзання з абразивним середовищем.

Поставлена задача вирішується тим, що у матеріал на основі заліза, який містить мідь і бор, згідно винаходу, додатково вводяться олово, фосфор та свинець, а інгредієнти матеріалу взяті у такому співвідношенні, мас %:

Мідь	25,0-50,0;
Олово	2,0-9,0;
Фосфор	0,8-1,2;
Бор	0,8-1,2;
Свинець	5,0-25,0;
Залізо	решта.

Суть винаходу полягає у тому, що в антифрикційний матеріал на основі заліза, крім міді і бору, додатково вводиться олово, фосфор та свинець у наступному співвідношенні, мас. %: мідь 25,0-50,0; олово 2,0-9,0; фосфор 0,8-1,2; бор 0,8-1,0; свинець 5,0-25,0; залізо - решта.

Запропонований матеріал відмінний від відомих, які використовуються в аналогічних умовах, процентним вмістом міді і додатково введеними компонентами, які виконують як функції елементів, які зміцнюють несучу структурну складову (олово, фосфор), так і функції антифрикційної структурної складової (свинець).

Процеси, які відбуваються при спіканні порошкової композиції Fe-Cu-Sn-P-B-Pb приводять до формування матеріалу з мікрогетерогенною структурою, яка представляє собою композицію, в якій суміш двох фаз [перша фаза - частинки заліза, леговані бором у вигляді боридів заліза FeB і FeB<sub>2</sub>; пов'язана між собою другою, більш пластичною фазою -  $\alpha$  - твердим розчином олова у міді, по межах якого розподіляються фосфіди міді Si<sub>3</sub>P і включення (Si<sub>3</sub>P+ евтектика) - це матриця, яка несе основне навантаження при терті, а рівномірно розподілений по об'єму свинець у вигляді глобулярних включень - це тверде мастило.

Олово, яке з міддю утворює  $\alpha$  - твердий розчин, і фосфор, який приводить до утворення фосфіду міді Si<sub>3</sub>P, зміцнюють більш пластичну складову матриці матеріалу, а таким чином зміцнюють і саму матрицю, підвищують комплекс її механічних властивостей.

Легування бором приводить до зміцнення заліза, а відповідно до зміцнення другої фази матриці за рахунок утворення боридів заліза FeB і FeB<sub>2</sub>. Останні підвищують мікротвердість заліза і його твердість HB.

Зміцнення матриці порошкового матеріалу на основі заліза за рахунок утворення при спіканні Fe-Cu-Sn-P-B-Pb таких фаз, як  $\alpha$  - твердого мідно олов'яного розчину з включеннями зміцнюючих складових Si<sub>3</sub>P і (Si<sub>3</sub>P+ евтектика), та частинок заліза з включеннями боридів заліза FeB і FeB<sub>2</sub>, позитивно впливає на працездатність вузла тертя при роботі без мастила з абразивним середовищем, на підвищення абразивної стійкості і несучої здатності при значних тисках і підвищених швидкостях ковзання.

Свинець - це антифрикційна структурна складова матеріалу. Він виконує роль твердого мастила під час сухого тертя з абразивним середовищем при значних тисках і підвищених швидкостях ковзання. Легкоплавкий пластичний свинець, який розподілений рівномірно по всьому об'ємові матеріалу у вигляді глобулярних включень, у процесі його роботи виходить на поверхню тертя внаслідок підвищення температури в робочій зоні, пластичної деформації і в результаті різниці у коефіцієнтах лінійного розширення компонентів матеріалу. Із збільшенням потужності тертя кількість мастила (свинцю) в поверхневому шарі зростає, втрати на тертя зменшуються, а отже зменшується і коефіцієнт тертя матеріалу.

Запропонований матеріал отримували методом порошкової металургії, а саме: порошки вихідних компонентів змішували (сухе змішування), а потім додатково змішували з добавкою стеарату цинку (0,3мас.%). Отриману шихту пресували в прес - формі під тиском 5т/см<sup>2</sup> і спекли у водні на протязі однієї години при температурі 900-920°C

Випробовування на тертя і зношування здійснювали на машині тертя МТ-68 при роботі без мастила у парі з сталлю 45 (HRC 48÷52), постійній швидкості ковзання, рівній 6м/с, і тисках, які ступінчато змінювали. В процесі експерименту

визначали інтенсивність зношування зразків І, мкм/км та силу тертя, по якій розраховували коефіцієнт тертя  $f$ . Також проводили випробовування на абразивну стійкість. В цьому випадку замість сталюого контртіла використовували абразивний круг марки АС6 300/100-МІ-100, який містив алмази. Оцінка стійкості при стиранні до закріпленого абразиву здійснювали при швидкості ковзання 4м/с і тискові 1,0МПа. При цьому визначали величину інтенсивності зношування зразків І<sub>абр</sub>, мкм/км. Результати досліджень запропонованого і відомого матеріалів представлені у Таблиці.

Приклад 1 (див. Табл., №п/п 1).

Взяли 41,0г порошку заліза; 42,8г порошку міді; 8,0г порошку фосфористої міді МФ-10 (8,0г МФ-10 містить 0,8г фосфору і 7,2г міді); 2,0г порошку олова; 0,8г порошку бора; 5,0г порошку свинцю.

Зразки приведенного складу отримували по вище описаній технології.

\*) Фосфор вводили з фосфористої міді МФ-10, яка містить 10мас.% фосфору.

Щоб увести 0,8г фосфору, взяли 8,0г порошку фосфористої міді МФ-10, який містить 0,8г фосфору і 7,2г міді. При необхідності введення у шихту 50,0г міді, але наявності у ній уже 8,0г фосфористої міді МФ-10, потрібно додати у шихту тільки 42,8г міді (42,8г Cu+7,2г Cu із МФ-10=50,0г Cu).

В усіх наступних прикладах кількість уведеного порошку міді залежить від кількості введенного порошку фосфористої міді МФ-10.

Із результатів випробовувань композиту 1 витікає:

При тискові 2,5-7,5МПа і швидкості ковзання 6,0м/с зразки з отриманого композиту, як видно із таблиці, при сухому терті мають коефіцієнт тертя 0,18-0,25.

3-за недостатньої кількості свинцю (5,0мас.%), який виконує роль твердого мастила, коефіцієнт тертя при тискові 7,5МПа складає 0,25. Очевидно, що введена кількість свинцю не забезпечує при сухому терті формування на робочій поверхні змащувальної плівки в необхідній кількості і відповідно не забезпечує більш низький коефіцієнт тертя.

Інтенсивність зношування отриманого композиту при тискові 7,5МПа відносно висока і становить 80,0мкм/км, що пояснюється:

- Недостатньою кількістю введенного до його складу легуючих елементів олова (2,0мас.%), фосфору (0,8мас.%) і бору (0,8мас.%) і, як наслідок, незначне зміцнення всієї матриці композиту - несучої структурної складової матеріалу.

1. Так, при введенні у композит 0,8мас.% фосфору кількість сформованої у процесі синтезу зміцнюючих фаз  $\text{Cu}_3\text{P}$  і  $(\text{Cu}_3\text{P} + \text{евтектика})$  недостатня для оптимального і суттєвого зміцнення мідно олов'яного сплаву (однієї із складових матриць матеріалу), необхідного для обмеження протікання пластичної деформації поверхневого шару у зоні тертя при роботі композиту під тиском. Крім того, введення 2,0мас.% олова у мідь

приводить тільки до незначного зміцнення самого мідно олов'яного сплаву.

Вище приведені причини приводять до зменшення опору стиранню і збільшенню інтенсивності зношування матеріалу.

2. При введенні у композит 0,8мас.% бору утворена ним у середині зерен заліза кількість тугоплавких сполук - боридів заліза невелика. Відповідно має місце незначне зміцнення і другої складової матриці матеріалу.

Таким чином, при введенні у композит згаданої кількості легуючих елементів має місце незначне зміцнення матриці матеріалу, що зменшує його зносостійкість і несучу здатність та збільшує інтенсивність зношування.

Приклад 2 (див. Табл., №п/п 3).

Взяли 39,0г порошку заліза; 14,2г порошку міді; 12,0г порошку фосфористої міді МФ-10 (12,0г МФ-10 містить 1,2г фосфору і 10,8г міді); 9,0г порошку олова, 1,2г порошку бора; 25,0г порошку свинцю.

Зразки приведенного складу отримували по вище описаній технології.

Результати випробовувань показали (див. Табл., №п/п 3), що зразки з отриманого композиту при тискові 2,5-7,5МПа і швидкості ковзання 6,0м/с при сухому терті мають інтенсивність зношування <25-60 мкм/км, а коефіцієнт тертя 0,17-0,23, величина якого забезпечується введеною кількістю твердого мастила (25мас.% Pb).

Триботехнічні характеристики композиту №3 пояснюються:

1. Зменшенням пластичності матриці матеріалу за рахунок збільшення кількості бору і фосфору в композиті. При введеній масі бору (1,2мас.%) і фосфору (1,2мас.%) кількість утворених у процесі синтезу матеріалу зміцнюючих фаз (тугоплавких сполук бору із залізом  $\text{FeB}$  і  $\text{FeB}_2$  у середині зерен заліза і фосфіду міді  $\text{Cu}_3\text{P}$  і фосфіду міді з включеннями евтектики  $(\text{Cu}_3\text{P} + \text{евтектика})$  у мідно олов'яному сплаві більша за оптимальну.

Так, введення в композит 1,2мас.% бору приводить у процесі його синтезу до утворення в середині зерен заліза - першої складової матриці - підвищеної кількості тугоплавких сполук бору із залізом, що веде до збільшення інтенсивності зношування.

Крім того, при указаній кількості фосфору зміцнюючі мідно олов'яний сплав фази  $\text{Cu}_3\text{P}$  і  $(\text{Cu}_3\text{P} + \text{евтектика})$  розподілені у цій структурній частині матриці у вигляді майже суцільної сітки. При такому розподілі пластичність її зменшується і матриця не має можливість розподіляти навантаження рівномірно на всю опорну поверхню, що і приводить до збільшення зношування композиту.

2. Меншим по величині підвищенням зносостійкості композиту за рахунок збільшення в його складі олова (9мас.%), яке веде до зростання рівня механічних властивостей мідно олов'яного сплаву (другої складової матриці композиту), ніж загальне зменшення зносостійкості за рахунок збільшення у сплаві вище оптимальної кількості бору і фосфору.

Триботехнічні властивості композиту №3 пояснюються з огляду на приведені вище факти, які є, до речі, кращими за властивості композиту №1.

Приклад 3 (див. Табл., №п/п 2).

Взяли 40,5г порошку заліза; 29,0г порошку міді; 10,0г порошку фосфористої міді МФ-10 (10,0г МФ-10 містить 1,0г фосфору і 9,0г міді); 3,5г порошку олова, 1,0г порошку бора; 15,0г порошку свинцю.

Зразки приведеного складу отримували по вище описаній технології.

Результати досліджень на тертя і зношування показали (див. Табл.), що при сухому терті при тисках 2,5-7,5МПа і швидкості ковзання 6,0м/с композит №2 має оптимальні триботехнічні характеристики: низький, 0,16-0,21, коефіцієнт тертя і незначну, <25-55,0мкм/км інтенсивність зношування.

Високі триботехнічні характеристики композиту №2 пояснюються тим, що вибраний хімічний склад матеріалу і спосіб його отримання забезпечили утворення найбільш зносостійкої мікрогетерогенної структури, в якій 85мас.% займає несуча, а 15мас.% - антифрикційна частина. Несуча частина, або як її називають ще матриця, представляє собою суміш двох фаз - заліза, легованого в оптимальній кількості частинками боридів заліза FeB і FeB<sub>2</sub>, пов'язаного другою, більш пластичною у порівнянні із залізом, фазою -  $\alpha$  - твердим розчином олова у міді, по межах якого у вигляді розірваної сітки розподілені фосфід міді і фосфід міді з включеннями евтектики. А рівномірно розподілений по об'єму свинець у вигляді глобулярних включень в оптимальній кількості (15мас.%) - це мастило, або, як його ще називають, антифрикційна частина матеріалу.

При такому розподілі фаз у матриці матеріал зміцнений, але не втрачає пластичність і має можливість рівномірно розподіляти тиск на всю опорну поверхню, дозволяючи йому працювати в екстремальних умовах без руйнування, що сприяє підвищенню його зносостійкості і приводить до зменшення інтенсивності зношування.

Очевидно, 85мас.% матриці і 15мас.% твердого мастила (свинцю) є оптимальне поєднання по кількості несучої і антифрикційної структурних складових, яке і забезпечило новому матеріалу при тисках 2,5-7,5МПа і швидкості 6,0м/с високі антифрикційні властивості.

Як впливає із приведених у таблиці даних, порошковий матеріал, який заявляється (склади 1-3), у порівнянні з відомим матеріалом ( $f_{\text{прототипу}}=0,19-0,29$ ;  $I_{\text{прототипу}}=<25-95,0=\text{мкм/км}$ ) забезпечує опорам ковзання при роботі у вузлах тертя без мастила в абразивному середовищі менший коефіцієнт тертя (0,16-0,25), більшу несучу здатність (<25-80,0мкм/км) і більш високу абразивну стійкість. В той час як прототип працездатний тільки до 7,5МПа, введення олова, фосфору і свинцю до складу відомого композиту на основі заліза, який містить мідь і бор, забезпечує новому матеріалу при швидкості ковзання 6,0м/с несучу здатність включно до

навантаження 10,0МПа ( $f_{\text{при } 10,0\text{мпа}}$  запропонованого матеріалу складає 0,27-0,30, а знос I - 85,0-110,0мкм/км), і приводить до підвищення його абразивної стійкості (60,0-90,0мкм/км) при швидкості ковзання 4,0м/с і тискові 1,0МПа в порівнянні з відомим (140,0мкм/км) в 1,5-2,3.

Запропонований матеріал оптимального складу при тисках 2,5-7,5МПа і швидкості ковзання 6,0м/с має коефіцієнт тертя 0,16-0,21; знос <25-55,0мкм/км, в той час як відомий (прототип) при цих умовах має коефіцієнт тертя 0,19-0,29; знос <25-95,0мкм/км.

Тобто, при тисках 2,5-7,5МПа і швидкості ковзання 6,0м/с введення олова, фосфору і свинцю до складу відомого композиту на основі заліза, який містить мідь і бор, забезпечує новому матеріалу зниження коефіцієнту тертя у порівнянні з відомим в 1,2-1,4 рази, зменшення інтенсивності зношування в 1,7 рази і спричиняє зростання його абразивної стійкості при швидкості 4,0м/с і тискові 1,0МПа в 1,5-2,3 рази.

Позитивний вплив олова, фосфору і свинцю зберігається в усьому діапазоні концентрацій. Подальше збільшення чи зменшення їх концентрації недоцільно. Так, подальше збільшення вмісту фосфору приводить до підвищення у матриці матеріалу кількості фосфіду міді Cu<sub>3</sub>P та включень (Cu<sub>3</sub>P+ евтектика) і до їх розподілу в мідно олов'яному сплаві у вигляді суцільної сітки, що спричиняє підвищення крихкості і зменшення пластичності матеріалу та, як наслідок, зростання його інтенсивності зношування.

Таким чином, введення до складу відомого матеріалу олова, фосфору і свинцю дозволяє підвищити експлуатаційні характеристики антифрикційного зносостійкого порошкового матеріалу на основі заліза, що заявляється.

Розроблений матеріал може бути використаний для виготовлення підшипників ковзання, вкладишів, шарнірів і т. п., які працюють в вузлах тертя машин і механізмів без мастила з абразивним середовищем у зоні тертя, наприклад, у сільськогосподарських збиральних комбайнах, у робочій зоні яких присутня пилюка, в тому числі земля.

Антифрикційний зносостійкий порошковий матеріал на основі заліза

Таблиця. Результати триботехнічних випробувань відомого і запропонованого зносостійкого порошкового матеріалу на основі заліза при швидкості ковзання 6,0 м/с і різних тисках

Склад	Вміст компонентів, мас. %								Тиск, МПа						Абразивна стійкість, мкм/км при 4 м/с, Fe-10 МПа		
	Cu мас.	Sn мас.	P фосф.	Pb свинец.	Fe фер.	Zn цинк.	AlF-фторид алюмін.	2,5		5,0		7,5		10,0			
								Коефіц. тертя, f	Знос, 1 мкм/км	Коефіц. тертя, f	Знос, 1 мкм/км	Коефіц. тертя, f	Знос, 1 мкм/км	Коефіц. тертя, f		Знос, 1 мкм/км	
Прототип залізний	32,0	-	-	-	1,0	57,1	8,0	0,9	0,12	<25	0,27	70,0	0,29	95,0	Напрямлений		140,0
1.	50,0	2,0	0,8	5,0	0,8	41,0	-	-	0,18	<25	0,24	60,0	0,25	80,0	0,30	110,0	70,0
2 (оптимальний)	39,0	3,5	1,0	15,0	1,0	40,5	-	-	0,16	<25	0,20	40,0	0,21	55,0	0,27	85,0	60,0
3.	25,0	9,0	1,2	25,0	1,2	39,0	-	-	0,17	<25	0,22	35,0	0,23	60,0	0,28	100,0	90,0

швидкості ковзання 6,0 м/с несучу здатність включно до навантаження 10,0МПа ( $f_{\text{при } 10,0\text{ МПа}}$  запропонованого матеріалу складає 0,27-0,30, а знос I - 85,0 - 110,0мкм/км), і приводить до підвищення його абразивної стійкості (60,0 - 90,0 мкм/км) при швидкості ковзання 4,0 м/с і тискові

1,0 МПа в порівнянні з відомим (140,0мкм/км) в 1,5-2,3.

Запропонований матеріал оптимального складу при тисках 2,5-7,5МПа і швидкості ковзання 6,0м/с має коефіцієнт тертя 0,16-0,21; знос <25-55,0мкм/км, в той час як відомий (прототип) при цих умовах має коефіцієнт тертя 0,19-0,29; знос <25-95,0мкм/км.

Тобто, при тисках 2,5-7,5МПа і швидкості ковзання 6,0м/с введення олова, фосфору і свинцю до складу відомого композиту на основі заліза, який містить мідь і бор, забезпечує новому матеріалу зниження коефіцієнту тертя у порівнянні з відомим в 1,2-1,4 рази, зменшення інтенсивності зношування в 1,7 рази і спричиняє зростання його абразивної стійкості при швидкості 4,0м/с і тискові 1,0МПа в 1,5-2,3 рази.

Позитивний вплив олова, фосфору і свинцю зберігається в усьому діапазоні заявлених концентрацій. Подальше збільшення чи зменшення їх концентрації недоцільно. Так, подальше збільшення вмісту фосфору приводить до підвищення у матриці матеріалу кількості фосфіду міді  $\text{Cu}_3\text{P}$  та включень ( $\text{Cu}_3\text{P}$ + евтектика) і до їх розподілу в міднооловяному сплаві у вигляді суцільної сітки, що спричиняє підвищення крихкості і зменшення пластичності матеріалу та, як наслідок, зростання його інтенсивності зношування.

Таким чином, введення до складу відомого матеріалу олова, фосфору і свинцю дозволяє підвищити експлуатаційні характеристики антифрикційного зносостійкого порошкового матеріалу на основі заліза, що заявляється.

Розроблений матеріал може бути використаний для виготовлення підшипників ковзання, вкладишів, шарнірів і т. п., які працюють в вузлах тертя машин і механізмів без мастила з абразивним середовищем у зоні тертя, наприклад, у сільськогосподарських збиральних комбайнах, у робочій зоні яких присутня пилюка, в тому числі земля.