

Винахід відноситься до області матеріалознавства, зокрема, до розробки самозмашувальних композиційних антифрикційних матеріалів на основі міді, призначених для опор ковзання, які працюють в умовах сухого тертя у вакуумі при тисках до 20МПа і швидкості ковзання 2,0м/с.

Аналогом даного винаходу є антифрикційний матеріал на основі міді [А.С. СРСР №381699, кл. С22С9/08, опубліковане 22.05.1973р. в бюлетені №22,] наступного хімічного складу, мас %:

свинець	15,00-40,00
марганець	1,00-10,00
фосфор	1,10-5,00
мідь	решта.

Недоліком цього матеріалу є те, що при експлуатації у вакуумі він працездатний тільки до тиску 10,0МПа. Навантаження більш за 10,0МПа приводять до його руйнування.

Прототипом винаходу, що заявляється, є найбільш близький до нього по технічній суті композиційний антифрикційний самозмашувальний матеріал на основі міді [Патент №73217, кл.С22С 9/08, опублікований 06.2005р. в бюлетені №6] наступного хімічного складу, мас. %:

свинець	17,00-40,00
марганець	1,00-10,00
фосфор	1,10-4,00
церій	0,50-1,50
мідь	решта.

Однак і цьому матеріалові властиві недоліки. Так, при швидкості ковзання 2,0м/с і великих тисках, більших за 18,0МПа, він починає інтенсивно зношуватися, що приводить до втрати ним працездатності.

Задачею винаходу "Самозмашувальний композиційний антифрикційний матеріал на основі міді" є підвищення антифрикційних властивостей матеріалу - зниження коефіцієнту тертя і зменшення інтенсивності зношування матеріалу у вакуумі при сухому терті, великих тисках і значних швидкостях ковзання.

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

свинець	12,00-35,00
олово	3,00-8,00
фосфор	0,80-3,50
ітрій	0,30-1,20
мідь	решта

Суть винаходу полягає у тому, що в антифрикційний матеріал на основі міді, крім свинцю і фосфору, додатково вводиться олово та ітрій у наступному співвідношенні, мас. %: свинець 12,0-35,0; фосфор 0,80-3,50; олово 3,0-8,0; ітрій 0,30-1,20; мідь-решта.

Ітрій, який входить до складу нового матеріалу, володіє більш високими механічними властивостями у порівнянні з церієм, легючим елементом прототипу, і вводиться у матеріал для зменшення його зношування за рахунок підвищення несучої здатності матеріалу. Він утворює з свинцем тугоплавкі сполуки, що розташовуються переважно у середині зерен пластичної матриці. Зміцнення композиту твердими тугоплавкими сполуками в оптимальній кількості, як показали наші дослідження, приводить до збільшення несучої здатності й зносостійкості і відповідно до зменшення інтенсивності його зношування. Крім того, ітрій сприяє формуванню високогетерогенної структури, що забезпечує зниження коефіцієнту тертя.

Олово і фосфор підвищують зносостійкість і несучу здатність матеріалу, а отже зменшують інтенсивність його зношування.

Олово утворює з міддю α -твердий мідноолов'яний розчин, зміцнює матрицю-несучу структурну складову матеріалу і підвищує комплекс механічних властивостей матеріалу, що при його роботі у вакуумі, при великих тисках, високих швидкостях ковзання і при відсутності мастил позитивно впливає на працездатність вузла тертя.

Твердий розчин олова у міді володіє кращими антизадирними властивостями у порівнянні з твердим розчином марганцю у міді, що забезпечує більш низький коефіцієнт тертя новому матеріалу.

Фосфор з міддю утворює міцну фазу-фосфід міді Cu_3P . В процесі кристалізації сплаву, крім фосфідів міді Cu_3P , утворюється евтектика, яка складається із α -твердого мідноолов'яного розчину і кристалів Cu_3P . Фосфід міді з включеннями евтектики - це зміцнююча фаза. При терті остання перешкоджає інтенсивній пластичній деформації поверхневого шару і усуває охоплення, підвищує зносостійкість і несучу здатність матеріалу і, відповідно, зменшує інтенсивність його зношування.

При синтезі композиції розплавлена зміцнююча фаза змочує α -твердий розчин олова у міді і розташовується у матеріалі оптимального складу уздовж його зерен у вигляді розірваної сітки. При такому її розподілі матеріал зміцнений, але не втрачає пластичність і має можливість рівномірно розподіляти навантаження, яке виникає у вузлі тертя при роботі у вакуумі. Збереження пластичності забезпечує оптимальну перебудову структури поверхневого шару, найбільш вигідної для даних умов роботи, і дозволяє матеріалові працювати в екстремальних умовах без руйнування, що сприяє зменшенню інтенсивності зношування, підвищенню його зносостійкості, а отже і довговічності вузла тертя, в склад якого входить опора ковзання, виконана із запропонованого матеріалу.

Свинець - це антифрикційна структурна складову матеріалу. Він виконує роль твердого мастила під час сухого тертя матеріалу у вакуумі при відсутності кисню, вологи і традиційного змащування і понижує коефіцієнт тертя. Легкоплавкий пластичний свинець, який розподілений рівномірно по всьому об'ємові матеріалу у вигляді окремих 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 структурних складових матеріалу. У функції свинцю входить забезпечення легкості ковзання пари тертя у вакуумі при відсутності традиційного змащування за рахунок утворення на їх поверхні змашувальної плівки свинцю, яка діє як тверде мастило.

Кількість і розподіл свинцю на поверхні тертя залежить від його вмісту і розподілу в структурі матеріалу, а

також від режиму тертя. Із збільшенням потужності тертя кількість свинцю в поверхневому шарі зростає. Таким чином, сформований шар свинцю знижує втрати на тертя, а отже і коефіцієнт тертя матеріалу, і визначає його антифрикційні властивості.

Структура самозмащувального композиційного антифрикційного матеріалу, що заявляється, є мікрогетерогенна. Основне навантаження несе матриця-несуча структурна складова, а у ролі твердого мастила-антифрикційної структурної складової виступає пластичний свинець, рівномірно розподілений по об'ємові матеріалу у вигляді глобулярних включень, розташованих на перетині меж зерен α -твердого мідноолов'яного розчину.

Матриця - це α -твердий розчин олова у міді, у середині зерен якого розташовані тугоплавкі сполуки ітрію із свинцем, уздовж меж зерен якого у вигляді розірваної сітки рівномірно розподілена зміцнююча фаза-сітка фосфіду міді Cu_3P з включенням фосфідної евтектики. Зміцнююча фаза обмежує пластичну деформацію поверхневого шару у зоні тертя, перешкоджає утворенню задернінь при сухому терті у вакуумі, усуває охоплення і перенос матеріалу на спряжену поверхню, зменшує інтенсивність зношування матеріалу, збільшує зносостійкість, несучу здатність, а отже і довговічність опор ковзання із запропонованого матеріалу.

Запропонований матеріал отримували методом лиття.

Вибраний хімічний склад матеріалу, технологія його отримання і перелічені процеси, які мають місце при його синтезі, забезпечують сплавові рівномірний розподіл структурних складових (несучої й антифрикційної) та необхідну структурно-морфологічну побудову, тобто мікрогетерогенну структуру, описану вище. В свою чергу останні забезпечують матеріалові у вакуумі при великих тисках (18,0-20,0 МПа) та значних швидкостях ковзання (2,0 м/с) малий коефіцієнт тертя, невелику інтенсивність зношування, високу зносостійкість і несучу здатність.

Триботехнічні характеристики композицій нового і відомого матеріалів у вакуумі $2 \cdot 10^{-5}$ мм рт.ст. досліджували на машині тертя МТВ-22М при швидкості ковзання 2,0 м/с, тисках 18,0-20,0 МПа по схемі вал-вкладиш. Вал був виготовлений із сталі 40Х13 твердістю HRC 55-57 з шорсткістю $Ra_{0,2}$, а вкладиш - із композицій запропонованого матеріалу. Результати триботехнічних досліджень представлені у таблиці.

Таблиця

Результати триботехнічних випробувань відомого і композицій нового матеріалу при швидкості ковзання $V=2$ м/с

№ п/п	Склад матеріалу, мас. %							P=18,0 МПа		P=20,0 МПа	
	Pb	P	Mn	Sn	Ce	Y	Cu	Коефіцієнт тертя	Інтенсивність зношування, мкм/км	Коефіцієнт тертя	Інтенсивність зношування, мкм/км
Відомий	20,0	2,0	5,0	-	1,0	-	72,0	0,14	40	Не працює	Не працює
2	11,0	3,8	-	2,5	-	0,25	82,45	0,16	80	0,22	130
3	12,0	1,0	-	3,0	-	0,30	83,7	0,13	30	0,17	100
4	17,0	2,0	-	5,0	-	0,50	75,5	0,13	25	0,15	60
5	20,0	1,5	-	7,0	-	0,80	70,7	0,10	20	0,13	35
6	30,0	0,8	-	8,0	-	1,00	60,2	0,11	30	0,14	70
7	35,0	3,5	-	7,5	-	1,2	52,8	0,12	35	0,16	110
8	37,0	0,7	-	9,0	-	1,3	52,0	0,15	70	0,20	120

Із даних таблиці витікає, що запропонований матеріал має у порівнянні з прототипом менший коефіцієнт тертя і меншу інтенсивність зношування, більш високу зносостійкість і несучу здатність.

Приклад 1 (див. табл., № п/п 3).

Взяли 83,70 г міді; 12,0 г свинцю; 1,0 г фосфору; 3,0 г олова; 0,3 г ітрію. В графітовому тиглі розплавляли мідь. Розплавлену мідь перегріли до температури 1150°C . У розплав перегрітої міді ввели олово і перемішали його кварцовим стержнем до однорідного стану. Відтак у мідноолов'яний розплав додали свинець і знову перемішали. У сплав мідь - олово - свинець ввели фосфор. Отриманий розплав Cu-Sn-Pb-P перемішали і додали до нього ітрію. Матеріал розлили у графітові тиглі заданого типорозміру і охолодили на повітрі до утворення на його поверхні "кірки". А далі композит з графітовим тиглем занурили у холодну воду для утворення і фіксації однорідної структури.

У вакуумі при тисках 18,0-20,0 МПа і швидкості ковзання 2,0 м/с зразки з отриманого композиту, як видно із таблиці, мають коефіцієнт тертя 0,13-0,17. Із-за недостатньої кількості свинцю (12,0 мас. %), який виконує роль твердого мастила, і при відсутності традиційного змащування коефіцієнт тертя при тискові 20,0 МПа складає 0,17. Очевидно, що введена кількість свинцю не забезпечує при сухому терті формування на робочій поверхні суцільної змащувальної захисної роздільної плівки в необхідній кількості і відповідно не забезпечує більш низький коефіцієнт тертя.

Інтенсивність зношування отриманого композиту при тискові 20,0 МПа відносно висока і становить 100,0 мкм/км, що пояснюється недостатньою кількістю введеного до його складу олова (3,0 мас. %), фосфору (1,0 мас. %) і ітрію (0,3 мас. %) і, як наслідок, незначне зміцнення несучої структурної складової матеріалу, зменшення опору стиранню і схоплюванню і збільшення інтенсивності його зношування. Так, при введенні у композит 1,0 мас. % фосфору кількість сформованої в процесі його синтезу зміцнюючої фази Cu_3P +евтектика недостатня для оптимального і суттєвого зміцнення матриці матеріалу, необхідного для обмеження протікання пластичної деформації поверхневого шару у зоні тертя при його роботі під тиском 20,0 МПа і швидкості ковзання 2,0 м/с. При введенні 0,3 мас. % ітрію утворена ним у середині зерен пластичної матриці кількість тугоплавких сполук з свинцем невелика. Відповідно має місце незначне зміцнення матриці матеріалу, що зменшує його зносостійкість і несучу здатність, збільшує інтенсивність зношування.

Приклад 2 (див. табл., № п/п 7).

Взяли 52,80 г міді; 35,0 г свинцю; 3,50 г фосфору; 7,5 г олова і 1,20 г ітрію. Композит одержали за схемою, яка

описана у прикладі 1.

Із табл. видно, що зразки з отриманого композиту при сухому терті і тисках 18,0-20,0 МПа та швидкості ковзання 2,0 м/с мають інтенсивність зношування 35,0-110,0 мкм/км, а коефіцієнт тертя 0,12-0,16, величина якого забезпечується введеною кількістю твердого мастила (35 мас.% Pb). Триботехнічні характеристики композиту №7 пояснюються, з однієї сторони, підвищенням рівня механічних властивостей композиту за рахунок збільшення в його складі олова (7,5 мас.%), яке веде до збільшення міцності і твердості матеріалу, до зростання його зносостійкості, до збільшення його опору стиранню та схоплюванню і відповідно до зменшення інтенсивності зношування, з другої сторони, зменшенням пластичності матеріалу за рахунок збільшення кількості фосфору і ітрію. При введеній масі фосфору (3,5 мас.%) і ітрію (1,2 мас.%) кількість утворених у процесі синтезу матеріалу зміцнюючих фаз (фосфіду міді з включеннями евктики, тугоплавких сполук ітрію з свинцем) більша за оптимальну. Так, при указаній кількості фосфору зміцнююча фаза Cu_3P +евтектика розподілена у вигляді майже суцільної сітки. При такому розподілі зміцнюючої фази пластичність матеріалу зменшується і він не має можливість розподіляти навантаження рівномірно на всю опорну поверхню, що і приводить до збільшення його зношування. Крім того, введення у композит 1,20 мас.% ітрію приводить до утворення у середині зерен пластичної матриці у процесі його синтезу підвищеної кількості тугоплавких сполук ітрію з свинцем, що веде до збільшення інтенсивності зношування і коефіцієнту тертя матеріалу.

Приклад 3 (див. табл., № п/п 5).

Взяли 70,70 г міді; 20,0 г свинцю; 1,50 г фосфору; 7,0 г олова і 0,80 г ітрію. Одержали композит за схемою, яка описана у прикладі 1.

Результати досліджень на тертя і зношування показали, що при сухому терті у вакуумі при тисках 18,0-20,0 МПа і швидкості ковзання 2 м/с композит №5 має оптимальні Триботехнічні характеристики: низький, 0,10-0,13, коефіцієнт тертя і незначну, (20,0-35,0 мкм/км), інтенсивність зношування. Високі Триботехнічні характеристики композиту №5 пояснюються тим, що вибраний хімічний склад матеріалу і спосіб його отримання забезпечили утворення найбільш зносостійкої мікрогетерогенної структури, в якій 80% займає несуча, а 20% - антифрикційна частина матеріалу - свинець. Несуча частина, або як її називають ще матриця, представляє собою α -твердий розчин олова у міді з включеннями тугоплавких сполук ітрію з свинцем, уздовж меж зерен якого розташована сформована у процесі синтезу матеріалу зміцнююча фаза у вигляді розірваної сітки. При указаному розподілі зміцнюючої фази матеріал зміцнений, але не втрачає пластичність і має можливість рівномірно розподіляти навантаження на всю опорну поверхню, дозволяючи йому працювати в екстремальних умовах без руйнування, що сприяє підвищенню його зносостійкості і приводить до зменшення інтенсивності зношування. Очевидно 80 мас.% мідного сплаву (матриці) і 20 мас.% свинцю (твердого мастила) є оптимальне поєднання по кількості несучої і антифрикційної структурних складових, яке і забезпечує новому матеріалу при тисках 18,0-20,0 МПа і швидкості ковзання 2,0 м/с високі антифрикційні властивості.

Позитивний вплив олова і ітрію зберігається в усьому діапазоні концентрацій. Подальше збільшення чи зменшення концентрацій олова і ітрію недоцільно. Так, більша кількість ітрію у матеріалі за 1,2 мас.% приводить до збільшення його коефіцієнту тертя через підвищення вмісту тугоплавких сполук ітрію з свинцем і, як наслідок, до збільшення інтенсивності зношування, а збільшення вмісту олова приводить до утворення крихкої δ -фази, що також веде до збільшення інтенсивності зношування.

Таким чином, введення до складу прототипу олова та ітрію знижує у вакуумі $2 \cdot 10^{-5}$ мм рт.ст. при сухому терті і тисках 18,0-20,0 МПа та швидкості ковзання 2,0 м/с коефіцієнт тертя запропонованого матеріалу в 1,1-1,4 рази і зменшує його інтенсивність зношування в 2,0-1,2 рази в порівнянні з прототипом.

Крім того, матеріал, який заявляється, працездатний при тисках включно до 20,0 МПа, в той час як прототип при аналогічних умовах інтенсивно зношується, що приводить до втрати ним працездатності.

Отже, введення до складу відомого матеріалу олова та ітрію дозволяє підвищити триботехнічні характеристики самозмащувального композиційного антифрикційного матеріалу на основі міді, що заявляється. Це свідчить про його перевагу в порівнянні з прототипом.

Розроблений матеріал може бути використаний в області створення космічної техніки нового покоління, приладобудування, машинобудування та енергетики для виготовлення самозмащувальних підшипників ковзання, вкладишів, втулок і т.д., які працюють у вакуумі у вузлах тертя машин і механізмів, в тому числі у вузлах тертя агрегатів орбітальних космічних комплексів, в умовах сухого тертя при великих тисках та значних швидкостях ковзання.