

УКРАЇНА



# ПАТЕНТ

НА ВИНАХІД

№ 109053

**ЗНОСОСТІЙКЕ АНТИФРИКЦІЙНЕ ПОКРИТТЯ**

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на винаходи  
**10.07.2015.**

Голова Державної служби  
інтелектуальної власності України

А.Г. Жарінова



(11) 109053

UA (19)

(51) МПК (2015.01)

C23C 14/06 (2006.01)

C23C 28/00

B32B 7/02 (2006.01)

B32B 15/00

B82Y 30/00

B82B 3/00

(21) Номер заявки:

а 2013 13223

(22) Дата подання заявки:

13.11.2013

(24) Дата, з якої є чинними права на винахід:

10.07.2015

(41) Дата публікації відомостей про заяву та номер бюлетеня:

Бюл. № 10  
25.05.2015

(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня:

Бюл. № 13  
10.07.2015

(72) Винахідники:

Сагалович Олексій

Владиславович, UA,

Сагалович Владислав

Вікторович, UA,

Попов Віктор Васильович,

UA,

Кононихін Олександр

Болодимирович, UA,

Болославцев Болодимир

Іванович, UA

(73) Власник:

ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ

ТОВАРИСТВО "ФЕД",

вул. Сумська, 132, м. Харків,

61023, UA

(54) Назва винаходу:

ЗНОСОСТІКЕ АНТИФРИКЦІЙНЕ ПОКРИТТЯ

(57) Формула винаходу:

1. Зносостійке антифрикційне покриття, що містить азотований шар і шари нітриду титану і алюмінію, яке відзначається тим, що перший шар виконаний з титану на попередньо азотованій поверхні основного матеріалу, другий шар виконаний у формі наночарів титану і нітриду титану, що чергуються, третій шар виконаний також у формі наночарів нітриду титану і нітриду алюмінію.  
2. Зносостійке антифрикційне покриття за п. 1, яке відзначається тим, що перший шар з титану виконаний товщиною 0,2-0,3 мкм.  
3. Зносостійке антифрикційне покриття за п. 1, яке відзначається тим, що другий шар виконаний у формі наночарів титану і нітриду титану, що чергуються, з періодом повторюваності 10 нм і товщиною окремих наночарів відповідно 2 нм і 8 нм, при цьому сумарна його товщина складає 0,2-0,3 мкм.  
4. Зносостійке антифрикційне покриття за п. 1, яке відзначається тим, що третій шар виконаний у формі наночарів нітриду титану і нітриду алюмінію (50/50), що чергуються, з періодом повторюваності 20 нм і однаковою товщиною окремих наночарів, при цьому сумарна його товщина складає 0,5-0,7 мкм.  
5. Зносостійке антифрикційне покриття за п. 1, яке відзначається тим, що четвертий шар виконаний з нітриду алюмінію завтовшки 0,3-0,5 мкм.

(11) 109053

Пронумеровано, прошито металевими  
люверсами та скріплено печаткою  
2 арк.  
10.07.2015



Уповноважена особа

(підпис)



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **109053** (13) **C2**

(51) МПК (2015.01)  
**C23C 14/06** (2006.01)  
**C23C 28/00**  
**B32B 7/02** (2006.01)  
**B32B 15/00**  
**B82Y 30/00**  
**B82B 3/00**

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД**

<p>(21) Номер заявки: <b>а 2013 13223</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>13.11.2013</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: <b>10.07.2015</b></p> <p>(41) Публікація відомостей про заявку: <b>25.05.2015, Бюл.№ 10</b></p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>10.07.2015, Бюл.№ 13</b></p>	<p>(72) Винахідник(и): <b>Сагалович Олексій Владиславович (UA), Сагалович Владислав Вікторович (UA), Попов Віктор Васильович (UA), Кононихін Олександр Володимирович (UA), Богославцев Володимир Іванович (UA)</b></p> <p>(73) Власник(и): <b>ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО "ФЕД", вул. Сумська, 132, м. Харків, 61023 (UA)</b></p> <p>(74) Представник: <b>Серюгіна Алла Сергіївна, реєстр. №63</b></p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: EP 1431416 A1, 23.06.2004 JP 2006037212 A, 09.02.2006 JP H01139754 A, 01.06.1989 UA 89923 C2, 10.03.2010 UA 96958 C2, 26.12.2011 UA 71628 U, 25.07.2012 RU 27090 U1, 10.01.2003 EP 0289173 A1, 02.11.1988</p>
---	--

UA 109053 C2

**(54) ЗНОСОСТІЙКЕ АНТИФРИКЦІЙНЕ ПОКРИТТЯ**

**(57) Реферат:**

Винахід належить до металургії і стосується прецизійних зносостійких антифрикційних покриттів, що отримані шляхом вакуумно-дугового осадження. Покриття містить перший шар, виконаний з титану на попередньо азотованій поверхні основного матеріалу, другий шар, виконаний у формі наночарів титану і нітриду титану, що чергуються, третій шар виконаний також у формі наночарів нітриду титану і нітриду алюмінію, що чергуються, останній шар виконаний з нітриду алюмінію. Технічний результат: надійність роботи серійних і нових конструкцій агрегатів, збільшення їх ресурсу.

Винахід належить до прецизійних зносостійких антифрикційних покриттів, що отримані шляхом вакуумно-дугового осадження, і може бути використаний в машинобудуванні, авіабудуванні, при створенні конструкцій з підвищеними антиерозійними, антифрикційними і захисними властивостями.

5 Відомо, що одним з найбільш відповідальних елементів насосів, зокрема, насосів НР 180 і НТ40, що широко використовуються в агрегатах паливоживлення та регулювання авіадвигунів, є розподільний золотник (пара опора - п'ята).

Плоский розподільний золотник поділяє порожнини всмоктування і нагнітання насоса. На робочій площині золотника, зміцненій азотуванням до твердості  $\geq 770$  HV, ковзає бронзовий вузол, що гойдає, забезпечуючи подачу палива насосом з необхідним тиском.

10 Для забезпечення працездатності насоса робочі площини золотника і вузла, що гойдає, виготовляють з неплоскостістю  $\leq 0,001$  мм і шорсткістю  $Ra=0,08$ .

Згадана вище трибологічна пара працює в середовищі авіаційного палива (газ різної якості) в умовах значно більш жорсткого фрикційного контакту, ніж інші пари, при набагато більш високих швидкостях (обертання до 7000 об/хв.) і тисках (сприймаються питомий тиск, що діє, сприймається до  $20$  кг/см<sup>2</sup>). Тому недостатній опір зносу золотникової пари може істотно обмежувати ресурсні показники насоса, а також приводити до відмов через втрату працездатності пари тертя [Селезньов Л.И. Оценка длительности периода эрозионного износа конструкционных материалов. / Селезньов Л.И., Рыженков В.А. //Теплоэнергетика. - 2005. - №4. - С. 61-63].

20 Відомо, що найбільш ефективний шлях значного підвищення зносостійкості конструкційних матеріалів - використання і вдосконалення захисних покриттів.

Зносостійке і корозійностійке покриття може являти собою, наприклад, шари корозійностійких шарів металу, що багаторазово чергуються, вибраних з групи, що містить молибден, ніобій, тантал, вольфрам, хром, титан, цирконій, нікель або сплави на їх основі. Відоме, наприклад, тришарове покриття, перший шар якого являє собою шар одного металу або суміші металів 1VA або V1A груп Періодичної системи елементів Менделєєва, сформований в середовищі нейтрального газу, другий - у суміші нейтрального і реакційного газів, а третій являє собою шар нітридів, карбідів, боридів або їх суміші [див. опис до патенту РФ 2161661, М. Кл. С23С 14/16, опубл. 10.01.2001]. Покриття містить підшар з скандію, ітрію чи рідкісноземельних металів товщиною 0,02-0,08 мкм, кількість шарів може бути від  $x$  до 500, товщини шарів знаходяться в співвідношенні  $(0,02-5,0):(0,04-10):(0,1-12,5)$ , а товщини перших двох шарів знаходяться в співвідношенні 1,0:2,0:2,5.

35 Описане вище покриття має зносостійкість, однак вона недостатня для згаданих вище жорстких умов експлуатації.

Відоме зносостійке іонно-плазмове покриття на основі нітриду хрому, нанесене на металевий виріб [див. опис до патенту РФ № 2025543, М. кл. С 23 С 14/ 08, опубл. 30.12.1994 р.], що містить ванадій у складі нітриду (Cr-V) N при наступному співвідношенні хрому і ванадію ат. %: Cr 28-50, V 50-72.

40 Описане вище покриття може використовуватися в промисловості для підвищення зносостійкості різального та технологічного інструменту, має відносну зносостійкість 1-3,08, яка змінюється залежно від складу.

Зносостійкість такого покриття відносно висока, але його застосування обмежене в основному ріжучим інструментом, тобто розраховане на можливість швидкого відновлення в умовах промислового виробництва.

45 Відомо також зносостійке іонно-плазмове покриття на основі складного нітриду титану, алюмінію і хрому (TiхAlуCrz)N, нанесене на металевий або керамічний виріб [див. опис до патенту РФ № 2050060, М. кл. С 23 С 14/ 06, опубл. 27.11.2010 р.], в якому вміст хрому ( $z$ ) залежить від вмісту алюмінію і титану і знаходиться в межах від  $1/7$  до  $1/5$  від ( $xу$ ), при цьому  $0,05 \leq x \leq y$ ,  $x/y \geq 1$ . Описане вище покриття має підвищену зносостійкість і може бути використане для ріжучого інструменту, тобто його функціональні можливості також обмежуються цією областю.

55 Найбільш близьким до технічного рішення, що заявляють, за призначенням, технічною суттю та результатом, що досягають при використанні, є багатошарове, зносостійке покриття, що містить азотований шар і шари нітриду титану і алюмінію [див. опис до патентної заявки США № US 2009/0123737, Покриття обробленої поверхні стійке до ерозії твердими частинками, М. кл. В32В 18/00, опубл. 14.05.2009 р.], в якому нітрид титану розташований на азотованому шарі, отриманому звичайним шляхом, і чергується з шарами AlCrN товщиною від 10 нм до 100 нм при загальній товщині від 19 мк до 20 мк.

Таке покриття здатне зробити помітний опір зносу. Однак, формування такого покриття супроводжується істотною зміною геометричних параметрів робочих поверхонь. Для використання оброблених поверхонь в цілому ряді пристроїв необхідна їх додаткова механічна обробка, пов'язана із зменшенням товщини покриття до 1-2 мкм, що зводить нанівець результати хіміко-термічної обробки.

Сучасні дослідження в області створення нових матеріалів з рекордними характеристиками по зносостійкості, шорсткості, можливості працювати в екстремальних умовах тісно пов'язані з напрямком нанотехнологій, які дозволяють формувати багатокомпонентні композиції зі структурними елементами, які мають розміри від декількох сотень до одиниць нанометрів. Такі матеріали в порівнянні з матеріалами такого ж складу із звичайною структурою можуть мати в кілька разів вищі відповідні характеристики по трибологічності та іншим властивостям.

В основу винаходу поставлена задача поліпшення зносостійкого покриття, що містить азотований шар, шари нітриду титану і алюмінію, в якому, внаслідок виконання першого шару з титану на попередньо азотованій поверхні основного матеріалу, виконання другого шару у формі наночарів титану і нітриду титану, що чергуються, третього шару в формі наночарів нітриду титану і нітриду алюмінію, що чергуються, і четвертого шару з нітриду алюмінію, забезпечується новий технічний результат. Він полягає у створенні перехідного шару, що забезпечує плавну зміну пластичності шару при переході від крихкого стану азотованої основи через тверді наночари до зовнішнього приробляючого покриття нітриду алюмінію, і має високу хімічну інертність. Цей поверхневий приробляючий шар в процесі прироблення забезпечує кращу пару тертьових поверхонь, що сприяє підвищенню зносостійкості наночарового покриття TiN-AlN і забезпечує опірність покриття в цілому до зносу будь-якого виду, в тому числі ерозійного впливу агресивного середовища.

Поставлена задача вирішується тим, що у відомому зносостійкому покритті, що містить азотований шар і шари нітриду титану і алюмінію, згідно з винаходом, перший шар виконаний з титану на попередньо азотованій поверхні основного матеріалу, другий шар виконаний у формі наночарів титану і нітриду титану, що чергуються, третій шар виконаний також у формі наночарів нітриду титану і нітриду алюмінію, що чергуються, останній шар виконаний з нітриду алюмінію.

Згідно з винаходом, перший шар з титану виконаний товщиною 0,2-0,3 мкм.

Згідно з винаходом, другий шар виконаний у формі наночарів титану і нітриду титану, що чергуються, з періодом повторюваності 10 нм і товщиною окремих наночарів відповідно 2 нм і 8 нм, при цьому сумарна його товщина складає 0,2-0,3 мкм.

Згідно з винаходом, третій шар виконаний у формі наночарів нітриду титану і нітриду алюмінію TiN-AlN (50/50), що чергуються, з періодом повторюваності 20 нм і однаковою товщиною окремих наночарів, при цьому сумарна його товщина складає 0,5-0,7 мкм. Згідно з винаходом, четвертий шар виконаний з нітриду алюмінію завтовшки 0,3-0,5 мкм. Як видно з викладу суті заявлюваного технічного рішення, воно відрізняється від прототипу і, отже, є новим.

Технічне рішення, що заявляють, має винахідницький рівень. Воно принципово відрізняється від відомих тим, що забезпечує створення покриттів з високим опором зносу і задираку при збереженні характеристик міцності прецизійних деталей, що працюють в умовах високих швидкостей відносного руху деталей пари тертя і значним осьовим навантаженням з боку диска на опору.

Пропоноване технічне рішення промислово застосовне і реалізовано у вигляді покриття АВІНІТ С310-п1 за допомогою обладнання, що виготовлено в умовах сучасного виробництва.

У табл. 1 показані характеристики покриттів, нанесених на зразки зі сталі 8 × 4В9Ф2 -Ш.

Таблиця 1

	Твердість основи, HRC	Склад покриття	Товщина, мкм	Мікротвердість покриття	Шорсткість $R_a$ , мм
Покриття АВІНІТ С310-n1	≥61	Ti-(Ti-TiN)- TiN-AIN 50/50)-AIN	1,2	± 3000-3200 HV † H=2500 МПа	0,16
Покриття АВІНІТ С310-n1	≥61	Ti-(Ti-TiN)- TiN-AIN 50/50)-AIN	1,5	± 3000-3200 † H=3000 МПа	0,08
Покриття АВІНІТ С310-n1	≥61	Ti-(Ti-TiN)- TiN-AIN 50/50)-AIN	1,8	± 3000-3200 † H=3000 МПа	0,16

± Вимірювання мікротвердості  $HV_{100}$  на зразку - свідку за допомогою Мікротвердоміру ПМТ -3 дали значення  $HV=3000-3200$  Vickers. Товщина покриттів 9 мкм.

† Вимірювання нанотвердості і модуля Юнга в покриттях АВІНІТ С310-n1 на зразках - свідках за допомогою приладу для вимірювання нанотвердості фірми CSM (Швейцарія) (швидкість навантаження 20,00 mH/min, max глибина 100,00 nm при навантаженні 0,6 Г, обробка результатів - в моделі Олівера - Фара),  $H = 2500-3000$  МПа,  $E = 250-300$  GPa, коефіцієнт Пуассона  $K = 0, 30$ . Товщина покриттів 1,5 мкм є оптимальною.

Були проведені трибологічні випробування з визначення значень коефіцієнтів тертя  $F_{тр}$ , зносу - і задиркостійкості в широкому діапазоні значень PV (до значень  $PV \geq 2000$  [кГс/см<sup>2</sup> × м/сек]) за схемою "кубик - ролик" в парах сталь 8 × 4В9Ф2 -Ш - бронзи і покритий АВІН С310-n1 (TiAlN-AIN) в парі з бронзами:

- бронза Бр.010С2НЗ, оброблена за заводською технологією;
- бронза Бр.СуЗНЗЦС20Ф0, 2 (ВБ23 НЦ), оброблена за заводською технологією;
- бронза Бр.Су6Ф0, 9 (СБ-24), оброблена за заводською технологією.

При цьому отримано, що пари тертя, робочі поверхні яких мають наночарове покриття АВІНІТ С310-n1, випробувані в умовах граничного змащення (робоча рідина - авіаційне паливо ТС -1), характеризуються:

- високою стійкістю до задиркоутворення;
- найкращою прироблюваністю робочих поверхонь - "покриття АВІНІТ С310-n1 (TiAlN-AIN) - бронза Бр.010С2НЗ, оброблена за заводською технологією";
- відсутністю вторинної прироблюваності, при цьому тривалість періоду прироблювання  $\approx 60$  хв., після якої величини коефіцієнтів тертя стабілізуються і, при незмінному навантаженні 1600Н, знаходяться в межах 0,09...0,1;
- найкращою зносостійкістю обох робочих поверхонь за відсутності схоплювання пари

"покриття АВІНІТ С310-n1 (TiAlN-AIN) - бронза Бр.Су6Ф0, 9 (СБ-24), оброблена за заводською технологією".

Опір зносу пар тертя АВІНІТ С310-n1 - бронза як власне зразків, так і пар в цілому, максимально і суттєво перевищує опір "базової" пари "8 × 4В9Ф2-Ш - бронза Бр.СуЗНЗЦС20Ф0, 2 (ВБ23 НЦ)", найкращу в даний час при роботі в авіаційному паливі. Ваговий знос, виявлений після 8 години зношувальних випробувань, становив:

- мінімум в 12 разів менший, ніж у "базової" пари в цілому;
- мінімум в 2,5 разу менший для більш твердого зразка пари;
- мінімум в 44 рази менший для більш м'якого зразка пари;
- на "прямих" парах після 8 годин випробувань покриття показали практично нульовий знос

або знос, який не виявляється застосовуваними методами контролю, що свідчить про дуже високу стійкість до зношування зазначених пар.

Встановлено, що коефіцієнт тертя більш низький у пари "покриття АВІНІТ С310-n1 (TiAlN-AIN) - бронза Бр.Су6Ф0, 9 (СБ-24), оброблена за заводською технологією", ніж у "базової" пари "8 × 4В9Ф2-Ш - бронза Бр.СуЗНЗЦС20Ф0, 2 (ВБ23 НЦ)".

Найменший коефіцієнт тертя мала пара - покриття АВІНІТ С310-n1, з твердістю 3200HV і товщиною 0,001...0,002 мм, нанесене на робочу шліфовану поверхню азотованої сталі 8 × 4В9Ф2-Ш з шорсткістю  $R_a \nabla 10$  без якої-небудь подальшої механічної обробки.

Величина коефіцієнта тертя пари не перевищувала 0,095 у всьому діапазоні навантажень, а при максимальному навантаженні становила 0,065, що відповідає мінімальному значенню,

отриманому для пар тертя з дослідженими покриттями. Вищевикладене, а також те, що бронза Бр.СубФ0, 9 (ВБ-24) вкрай нетехнологічна в дифузійному зварюванні, що застосовується в серійних процесах виготовлення деталей пар тертя, дозволяє вибрати пару тертя "покриття АВІНІТ С310-п1 (TiAlN-AlN) - бронза Бр.010С2Н3, яка оброблена за заводською технологією, як найбільш перспективну для застосування в розглянутих розподільних золотниках.

Для проведення порівняльних ресурсних агрегатних випробувань були виготовлені дослідні партії розподільних золотників без покриття та з покриттями АВІНІТ С310-п1 (табл. 2).

Таблиця 2

Геометричні параметри розподільних золотників

	Кількість золотників для випробування, шт.	Твердість основи, НРС	Неплоскостинність, мм	Шорсткість R <sub>a</sub> , мм
Агрегат з розподільним золотником без покриття	3	≥61	≤0,001	0,08
Агрегат с розподільним золотником з покриттям АВІНІТ С310-п1	3	≥61	≤0,001	0,08

Спотворень геометрії і шорсткості покритих поверхонь, у порівнянні зі станом до покриття, не виявлено.

Як показують результати ресурсних агрегатних випробувань (табл. 3), нанесення покриття АВІНІТ С310-п1 на робочу площину розподільного золотника забезпечує істотно більш високі ресурсні показники насоса.

Таблиця 3

Результати ресурсних агрегатних випробувань

	Ресурс роботи, година
Агрегат з розподільним золотником без покриття	200
Агрегат з розподільним золотником з покриттям АВІНІТ С310-п1	4000

У процесі випробувань виявлено ще один суттєвий позитивний момент застосування нанощарових покриттів АВІНІТ С310-п1.

Зазвичай при роботі насосів на авіаційних паливах в зоні тертя від виникнення високої температури утворюються продукти коксування робочого середовища, що додатково погіршує умови тертя і значно обмежує ресурсні показники пари тертя. Як показали випробування, використання нанощарових покриттів АВІНІТ С310-п1 практично повністю запобігає коксування гасу на робочих режимах агрегату, що покращує роботу трибопари. Таким чином, застосування нанощарових покриттів АВІНІТ С310-п1 у вузлах тертя з розподільним золотником забезпечує високу надійність роботи серійних і нових конструкцій агрегатів і збільшує їх ресурс в 5-20 разів.

Підвищення ресурсу роботи забезпечується за рахунок:

- трибологічної сумісності матеріалу покриття з матеріалом вузла, що гоїдається, на всіх експлуатаційних режимах роботи насоса, з деяким зниженням коефіцієнта тертя;

- збільшення твердості (міцності) робочій площині розподільного золотника до ≥3200 НV, при цьому покриття не змінює вихідні геометричні параметри робочої площини, що зазначені вище;

- усунення негативного впливу продуктів коксування гасу на працездатність пари тертя.

#### ФОРМУЛА ВІНАХОДУ

1. Зносостійке антифрикційне покриття, що містить азотований шар і шари нітриду титану і алюмінію, яке відрізняється тим, що перший шар виконаний з титану на попередньо азотованій поверхні основного матеріалу, другий шар виконаний у формі нанощарів титану і нітриду титану, що чергуються, третій шар виконаний також у формі нанощарів нітриду титану і нітриду алюмінію, що чергуються, останній шар виконаний з нітриду алюмінію.

2. Зносостійке антифрикційне покриття за п. 1, яке відрізняється тим, що перший шар з титану виконаний товщиною 0,2-0,3 мкм.
3. Зносостійке антифрикційне покриття за п. 1, яке відрізняється тим, що другий шар виконаний у формі наночарів титану і нітриду титану, що чергуються, з періодом повторюваності 10 нм і товщиною окремих наночарів відповідно 2 нм і 8 нм, при цьому сумарна його товщина складає 0,2-0,3 мкм.
- 5 4. Зносостійке антифрикційне покриття за п. 1, яке відрізняється тим, що третій шар виконаний у формі наночарів нітриду титану і нітриду алюмінію TiN-AlN (50/50), що чергуються, з періодом повторюваності 20 нм і однаковою товщиною окремих наночарів, при цьому сумарна його товщина складає 0,5-0,7 мкм.
- 10 5. Зносостійке антифрикційне покриття за п. 1, яке відрізняється тим, що четвертий шар виконаний з нітриду алюмінію завтовшки 0,3-0,5 мкм.