

УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ № 99816

СПОСІБ ОТРИМАННЯ ЕРОЗІЙНО СТІЙКОГО БАГАТОШАРОВОГО ПОКРИТТЯ ДЛЯ ЛОПАТОК ТУРБОМАШИН

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

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі **25.06.2015.**

Голова Державної служби
інтелектуальної власності України

А.Г. Жарінова



СПОСІБ ОТРИМАННЯ ЕРОЗІЙНО СТИКОГО БАГАТОШАРОВОГО ПОКРИТТЯ ДЛЯ ЛОПАТОК ТУРБОМАШИН

(54) Назва корисної моделі:

(57) Формула корисної моделі:

1. Спосіб отримання ерозійно стійкого багатшарового покриття для лопаток турбомашин, що включає вакуумно-плазмове нанесення металевого підшарку та шарів на підставі титану, які формують при обертанні лопаток відносно власної осі, який **відзначається** тим, що вакуумно-плазмове нанесення металевого підшарку передують послідовно три етапи очищення поверхні, що включають обробку поверхні в плазмі титанового розряду інертного газу аргону, обробку поверхні в високощільній плазмі двоступеневого вакуумно-дугового розряду інертного газу аргону, останнє, іонну обробку металевими іонами. 2. Спосіб за п. 1, який **відзначається** тим, що процеси багатступеневого іонно-плазмowego очищення, наступного вакуум-дугового осадження захисного ерозійно стійкого покриття, що містить шари на основі нітриду титану, і стабілізуючого відпалу покриття проводять в одному вакуумному об'ємі в єдиному технологічному циклі. 3. Спосіб по п. 1, який **відзначається** тим, що в процесі нанесення покриття здійснюють стабілізуючий відпал через кожні 50 шарів при тій же температурі без нанесення покриття шляхом відключення подачі азоту і підвищенні потенціалу зміщення на деталі для припинення нанесення покриття. 4. Спосіб за п. 1, який **відзначається** тим, що проведення процесу іонно-плазмowego очищення та формування шарів з заданими періодами, що повторюються, і товщинами циклограмми, що забезпечують програмно-захисного покриття здійснюють шляхом заданими циклограмми, що забезпечують програмно-синхронізоване керування регуляторами тиску інертного та реакційного газів та електричними параметрами процесу.

(21) Номер заявки: u 2014 14066
(22) Дата подання заявки: 29.12.2014
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.06.2015
(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: 25.06.2015, Бюл. № 12

(72) Винахідники: Салапович Олексій, Владиславович, UA, Салапович Владислав, Вікторович, UA
(73) Власники: Салапович Олексій, Владиславович, Харків, 61108, UA, Салапович Владислав, Вікторович, Харків, 61108, UA, вул. Вальтера, 21-а, кв. 124, м. Харків, 61108, UA

(11) 99816

Пронумеровано, прошито металевими
люверсами та скріплено печаткою
2 арк.
25.06.2015



Уповноважена особа

(підпис)



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **99816** (13) **U**
(51) МПК (2015.01)
C23C 14/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: u 2014 14066</p> <p>(22) Дата подання заявки: 29.12.2014</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.06.2015</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.06.2015, Бюл.№ 12</p>	<p>(72) Винахідник(и): Сагалович Олексій Владиславович (UA), Сагалович Владислав Вікторович (UA)</p> <p>(73) Власник(и): Сагалович Олексій Владиславович, вул. Вальтера, 21-а, кв. 124, м. Харків, 61108 (UA), Сагалович Владислав Вікторович, вул. Вальтера, 21-а, кв. 124, м. Харків, 61108 (UA)</p> <p>(74) Представник: Серюгіна Алла Сергіївна, реєстр. №63</p>
--	---

(54) СПОСІБ ОТРИМАННЯ ЕРОЗІЙНО СТІЙКОГО БАГАТОШАРОВОГО ПОКРИТТЯ ДЛЯ ЛОПАТОК ТУРБОМАШИН

(57) Реферат:

Спосіб отримання ерозійно стійкого багатошарового покриття для лопаток турбомашин включає вакуумно-плазмове нанесення металевого підшарку та шарів на підставі нітридів титану, які формують при обертанні лопаток відносно власної осі. Вакуумно-плазмовому нанесенню металевого підшарку передують послідовно три етапи очищення поверхні, що включають обробку поверхні виробу в плазмі тліючого розряду інертного газу аргону, обробку поверхні в високощільній плазмі двоступеневого вакуумно-дугового розряду інертного газу аргону і, останнє, іонну обробку металевими іонами.

UA 99816 U

UA 99816 U

Задачею запропонованої корисної моделі є підвищення стійкості лопаток з багатошаровими покриттями від сольової корозії, пилової та крапельно-ударної ерозії при одночасному підвищенні ресурсу деталей із захисними покриттями.

5 В основу корисної моделі поставлена задача поліпшення способу отримання ерозійно стійкого багатошарового покриття для лопаток турбомашин, в якому виконання способом, що включає додаткові операції очищення поверхні виробу, що передують вакуумно-плазмовому нанесенню металевого підшарку, досягається новий технічний результат, який полягає в суттєвому підвищенні адгезійної здатності покриття до зовнішнього шару покриття. Наявність градієнта пластичності у шарах покриття забезпечує підвищення його спротив до ерозійної дії агресивного середовища.

10 Наслідком досягнутого технічного результату є підвищення стійкості лопаток турбомашин при наявності сольової корозії, пилової та крапельно-ударної ерозії, що сприяє підвищенню ресурсу виробів із захисним покриттям і пристроїв, що їх використовують у своєму складі і в умовах волого-парової ерозії.

15 Поставлена задача вирішується тим, що у способі отримання ерозійно стійкого багатошарового покриття для лопаток турбомашин, що включає вакуумно-плазмове нанесення металевого підшарку та шарів на підставі нітридів титану, які формують при обертанні лопаток відносно власної осі, згідно з корисною моделлю, вакуумно-плазмовому нанесенню металевого підшарку передують послідовно три етапи очищення поверхні, що включають обробку поверхні, що включають обробку поверхні виробу в плазмі тліючого розряду інертного газу аргону, обробку поверхні в високощільній плазмі двоступеневого вакуум-дугового розряду інертного газу аргону і, останнє, іонну обробку металевими іонами.

20 Відповідно до корисної моделі, процеси багатоступеневого іонно-плазмового очищення, наступного вакуум-дугового осадження захисного ерозійно стійкого покриття, що містить шари на основі нітриду титану, і стабілізуючого відпалу покриття проводять в одному вакуумному об'ємі в єдиному технологічному циклі.

25 Відповідно до корисної моделі, в процесі нанесення покриття здійснюється стабілізуючий відпал через кожні 50 шарів при тій же температурі без нанесення покриття шляхом відключення подачі азоту і підвищенні потенціалу зміщення на деталі для припинення нанесення покриття.

30 Відповідно до корисної моделі, проведення процесу іонно-плазмового та формування шарів з заданими періодами, що повторюються, і товщинами окремих шарів при вакуум-дуговому осадженні захисного покриття здійснюється програмно заданими циклограмами, що забезпечують програмно-синхронізоване керування регуляторами тиску інертного та реакційного газів та електричними параметрами процесу.

35 Як видно з опису технічної суті запропонованого технічного рішення, воно відрізняється від прототипів і, отже, є новими.

40 Як показано вище, відомі способи проводять попередню обробку, в основному використовуючи іонне очищення. Запропонована корисна модель принципово відрізняється від відомих тим, що очищення включає різноманітний вплив на поверхню основи, який супроводжується і стабілізуючими відпалами покриття, і програмно синхронізованим керуванням регуляторами тиску інертного та реакційних газів, і обробку металевими іонами.

45 Запропонований спосіб реалізовано за допомогою обладнання, модернізованого в умовах сучасного виробництва.

Була проведена значна кількість експериментів на зразках-свідках із сталі 20x13 та титанового сплаву ВТ6, що використовують для виготовлення робочих лопаток, з метою вивчення різних конструкцій покриттів (загальної товщини покриттів, товщини шарів, схеми їх чергування, параметрів стабілізаційного відпалу) на адгезію та якість покриттів, щоб винайти оптимальну конструкцію багатошарового захисного покриття.

50 Результати експериментів представлені в таблицях.

Таблиця 1. Експерименти з вибору багатошарової конструкції захисного покриття.

Таблиця 2. Експерименти з вибору стабілізуючого відпалу.

Нанесення покриттів здійснювали при оптимальних режимах процесу (п. 1.5 табл. 1).

55 Таблиця 3. Порівняльні зондові вимірювання параметрів технологічної плазми різних джерел плазми модернізованої установки.

Таблиця 4.1, 4.2. Експерименти з вивчення впливу різних стадій попередньої обробки поверхні на адгезію та якість покриттів (сколювання та відшарування).

Нанесення покриттів здійснювали при оптимальних режимах процесу (п. 1.5 табл. 1, п. 2 табл. 2).

Таблиця 5. Характеристики покриттів на зразках-свідках, розміщених в різних місцях лопатки (L - відстань від замка лопатки).

Контроль товщини шарів здійснюється за допомогою заздалегідь відкаліброваного вимірювача товщини FTC-2800, що дозволяє вимірювати швидкість росту покриття від 0,01 А/сек. Нанесення шарових покриттів здійснюється шляхом встановлення заданих значень тиску азоту, що забезпечується програмно-контрольованими регуляторами тиску азоту. Створення необхідних циклограм для отримання заданих періодів, що повторюються, і товщини окремих шарів забезпечується програмним керуванням регуляторів тиску азоту від вимірювача товщини FTC-2800.

Для вимірювання температури деталей використаний пірометр Raytek.

Металографічні дослідження і визначення параметрів матеріалів (товщина покриттів, рівномірність, дефектність та структура самого матеріалу) проводили на мікроскопах MMP-4 та Tesa Visio 300 gL. Мікротвердість покриттів вимірювали за допомогою мікротвердомірів ПМТ-3 та "BUEHLER" при навантаженні 50 Г. Адгезію покриттів вимірювали скретч-метром Revetest Scratch Tester (RST).

В табл. 1 наведені результати виконаних експериментів з вибору багатошарової конструкції захисного покриття.

Як видно з табл. 1, найкращою пропонованою конструкцією багатошарового захисного покриття за якістю з точки зору адгезії, є конструкція, наведена в п. 1.5 табл. 1, а саме: ерозійно стійке покриття, що містить металевий шар титану та шари з нітридів титану, є багатошаровою конструкцією, в якій:

первинний шар покриття виконаний з Ti товщиною 3-5 мкм;

другий шар виконаний у складі шарів з (Ti-TiN) з періодом повторюваності 10 нм і товщиною окремих шарів відповідно 2 нм та 8 нм, товщиною 10-15 мкм.

Для поліпшення адгезійних характеристик покриття в процесі нанесення покриття здійснювали стабілізуючий відпал через кожні 50 шарів при тій же температурі без нанесення покриття шляхом відключення подачі азоту і підвищення потенціалу зміщення на деталі для припинення нанесення покриття.

Виконані нами експерименти (табл. 2), дозволили винайти оптимальні параметри процесу стабілізуючого відпалу (п. 2 табл. 2), що суттєво покращує адгезійні характеристики покриттів, що отримані.

Таким чином, як видно з табл. 1, 2, нанесення покриттів при оптимальних режимах процесу (п. 1.5 табл. 1) та стабілізуючого відпалу (п. 2 табл. 2) дозволяє отримувати найкращі результати по адгезії багатошарових захисних покриттів, про що свідчить відсутність відколів і локальних відшарувань.

Процес багатоступеневого іонно-плазмового очищення поверхні здійснюють наступним чином.

1 етап - обробка в плазмі тліючого розряду інертного газу аргону.

Через низькі значення щільності плазми і щільності іонного струму на поверхню, що обробляють, швидкість очищення (розпилення поверхневих шарів) в плазмі тліючого розряду набагато нижче швидкості очищення в плазмі електродугового розряду. Більш високий потенціал (600 В), необхідний для горіння тліючого розряду в таких умовах, здатен викликати появу мікродуг на забрудненнях поверхні і погіршення класу чистоти. Повністю подавити процес виникнення мікродуг не вдається, навіть не дивлячись на наявність добре сформованої системи захисту від мікродуг. Тому обробку в тліючому розряді використовували для попереднього обезгажування і "активації" доволі чистих поверхонь при дуже плавному підвищенні потенціалу.

Результати проведених досліджень показують, що тривалість обробки поверхні іонами аргону в плазмі тліючого розряду аргону не повинна перевищувати 30 хв.

Параметри плазми (іонний струм, щільність іонів, вольт-амперні характеристики, спектральні характеристики) під час іонно-плазмової обробки безперервно відслідковувались та архівувались за допомогою плазмометра "PlasmaMeter" та спектрометра "PlasmaSpectr".

Потім проводять іонно-плазмову обробку в високощільній газовій плазмі аргону, що створює газовий плазмоденератор модернізованої установки.

2 етап - обробка в високощільній плазмі.

Для цього використаний двоступеневий вакуумно-дуговий розряд інертного газу аргону як потужного плазмового джерела газової плазми. Використання газового плазмоденератора забезпечує високоефективну іонну обробку поверхні, що сприяє міцному зчепленню покриття з підкладкою і, як наслідок, одержанню високоякісних функціональних покриттів.

Для реалізації режиму газової плазми на виході електродугового джерела встановлена оптично непрозора, по проникненню для електричного поля, перегородка - жалюзійний екран,

щоб запобігти потраплянню іонів металу на деталь. Високощільна газова плазма збуджується між катодом електродугового джерела, поблизу якого встановлено екран, і плазмодом протилежного електродугового джерела, ізольованого від вакуумної камери. Катодом такого розряду є катод дугового розряду, ізольований від камери спеціальним сепаратором, що не пропускає потік металу, але при цьому дозволяє створити в камері газову плазму високої щільності.

За допомогою системи зондового моніторингу плазмових технологічних процесів плазмометра "PlasmaMeter" були проведені порівняльні зондові вимірювання параметрів технологічної плазми різних джерел плазми модернізованої установки (тліючий, подвійний дуговий) (Табл. 3). Вони показали, що відношення потоків іонів і нейтральних атомів для плазми подвійного дугового розряду дає приблизно в 300-1000 разів більш інтенсивний потік іонів в порівнянні з випадком тліючого розряду.

Така значно більш щільна плазма використана в модернізованій установці для очищення поверхні і іонного асистування при нанесенні функціональних покриттів.

Сила струму розряду може бути практично будь-якою і визначається тільки теплофізичними властивостями катоду і параметрами силового джерела живлення і може варіюватися в широких межах змінюванням струму дуги (100-200 А). Діапазон робочих напруг розряду складає 40-70 В при максимальній щільності іонного струму.

При іонно-плазмовому очищенні з використанням високощільної газової плазми, що створена газовим плазмоджерелом, не виникає проблема осадження на поверхні часток металу, а тому потенціали на деталь можна змінювати плавно, починаючи з нульового значення. При цьому досягається повна відсутність електричних пробів на забруднених ділянках поверхні у порівнянні з випадком, коли повне очищення поверхні здійснюється іонами металу, і тим самим досягається збереження вихідної чистоти поверхні, що обробляють.

При роботі з аргонем мінімальна робоча напруга на електродах розряду при максимальній щільності іонного струму відповідає тиску $1 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст. Для азоту оптимальний тиск дещо вище і складає $2 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст.

Іонний струм насичення, від величини якого залежить продуктивність процесу очищення, досягав високих значень (~ 3А). Час обробки в такому режимі складав від 10 до 15 хв. Такої обробки достатньо для переходу в режим обробки іонами металу, що напиляють.

3 етап - іонна обробка (очищення металевими іонами).

Основними технологічними параметрами при іонній обробці є іонний струм (щільність іонного струму), яким оброблюється поверхня виробу, енергія іонів, що бомбардують поверхню, та час обробки. Енергія іонів регулюється змінюванням напруги що прискорює. Щільність іонного струму на поверхні оброблюваного виробу задається щільністю іонного струму джерела іонів, що має власне регулювання.

Обробку з плазми електродугового розряду починали вести відразу після припинення обробки в газовій плазмі. Плавню підвищуючи напругу, що подається на виріб, доводять параметри дугового розряду до заданої технологічним процесом величини. Експериментально був вибраний режим роботи дугових джерел таким, щоб при неперервному режимі горіння дуги температура виробів підвищувалась від 573-623 К до 800-823 К при досягненні потенціалу 800 В, що прискорює, на протязі 8-10 хв.

Це дозволяло повністю уникнути інтенсивного створення мікродуг, причиною виникнення яких може бути підвищене газовиділення із-за додаткового розігріву поверхні виробу та оснастки в процесі обробки, недостатнього ступеня попереднього очищення оснастки та виробів перед вакуумуванням камери тощо.

В стадію іонної обробки може бути включена обробка не тільки в чистому інертному газі, а й з домішками інших газів (O_2 , N_2 та ін.), тобто здійснювати плазмохімічну обробку.

В табл. 4.1, 4.2 наведені результати виконаних експериментів на зразках-свідках в умовах, що відповідають реальним умовам використання пропонованого покриття, з метою вивчення впливу різних стадій попередньої обробки поверхні на адгезію та якість покриттів, які отримані, згідно з пропонованою корисною моделлю, з оптимальними конструкціями, приведеними в попередніх табл. 1, 2 (п. 1.5 табл. 1, п. 2 табл. 2).

Найкращі результати по адгезії і якості покриттів досягаються при оптимальних режимах процесу п. 1.5 (табл. 4).

Після проведення усіх формоутворюючих механічних обробок перед нанесенням покриття проводять традиційні операції ретельного обезжирювання в ультразвуковій ванні, промивки в бензино-ацетонових розчинниках, висушування в сушильній шафі при температурі 60 °С.

Нанесення покриттів здійснюється в модернізованій установці. Лопатку встановлюють в спеціальній технологічній оснастці в вакуумну камеру, де створюють вакуум не нижче $2,0 \cdot 10^{-3}$ Па.

5 Проводять триступеневе іонно-плазмове очищення згідно з корисною моделлю. Проведення такої трьохетапної обробки забезпечує високу якість очищення поверхні перед нанесенням покриттів і отримання міцно зчеплених з основою покриттів.

Потім формують багатокомпонентне покриття вакуумно-дуговим осадженням з плазмової фази в середовищі реакційного газу азоту з іонним бомбардуванням згідно з винаходом.

10 Розроблені покриття були нанесені на партію серійних робочих лопаток (довжиною до 1300 мм) парових турбін для захисту від корозійно-ерозійних ушкоджень.

Для контролю були поставлені зразки-свідки на різних ділянках лопаток - на випуклих і вигнутих поверхнях, в зонах бандажу, пера лопатки, замкової частини (Табл. 5).

Проведений найретельніший контроль робочих лопаток з покриттями, що розроблені, не виявив жодних ушкоджень покриттів на всіх ділянках лопаток.

15 Партія лопаток з розробленими покриттями поставлена у складі турбіни в умовах експлуатації на АЕС (Пакш, Угорщина), де експлуатується в штатних умовах з 2010 р.

Як видно з опису прикладів покриттів і способу їх виготовлення, корисна модель дозволяє досягнути значних показників властивостей і якості багаточасткового покриття.

Таблиця 1

NN	Матеріал основи	NN	Перший шар Ti		
			Технологічні параметри		Характеристики першого шару
			струм $I_p(Ti), A$	напруга U_c, B	Загальна товщина першого шару, мкм
1	Ст. 20 × 13	1.1	90	120	5 Ti
		1.2	90	90	2 Ti
		1.3	120	100	3 Ti
		1.4	120	120	3 Ti
		1.5	120	120	5 Ti
		1.6	100	100	3 Ti
		1.7	120	140	5 Ti
2	Титановий сплав BT6	2.1	90	120	5 Ti
		2.2	100	100	5 Ti
		2.3	120	120	5 Ti
		2.4	100	100	5 Ti

Таблиця 1 (продовження)

NN	Другий шар Ti-TiN							Характеристики загального покриття		
	Технологічні параметри			Характеристики другого шару Ti-TiN				Адгезія	Загальна товщина, мкм	Мікро твердість, МПа
	струм I _p (Ti), А	напруга U _c , В	тиск азоту P _{N₂} , Па	Товщина шару Ti, нм	Товщина шару TiN, нм	Період повторюваності, нм	Загальна товщина другого шару, мкм			
1.1	90	120	2,0·10 ⁻¹				10 TiN	Добра	15	20000
1.2	100	90	2,0·10 ⁻¹	5	10	15	15 Ti-TiN	Добра	17	19000
1.3	100	100	2,0·10 ⁻¹	3	15	20	12 Ti-TiN	Добра	15	19000
1.4	120	120	2,0·10 ⁻¹	5	10	15	10 Ti-TiN	Добра	13	19000
1.5	120	120	2,0·10 ⁻¹	2	8	10	15 Ti-TiN	Дуже добра	20	18000
1.6	100	120	2,0·10 ⁻¹	10	10	20	17 Ti-TiN	Добра	20	17000
1.7	120	140	2,0·10 ⁻¹	10	20	20	20 Ti-TiN	Добра	25	19000
2.1	100	120	2,0·10 ⁻¹				10 TiN	Добра	15	20000
2.2	100	100	2,0·10 ⁻¹	10	10	10	15 Ti-TiN	Добра	20	19000
2.3	120	120	2,0·10 ⁻¹	2	8	10	15 Ti-TiN	Дуже добра	20	18000
2.4	120	120	2,0·10 ⁻¹	15	20	20	15 Ti-TiN	Добра	20	17000

Таблиця 2

NN	Матеріал основи	Параметри стабілізуючого відпалу	Технологічні параметри				Характеристики загального покриття	
			Тиск азоту P _{N₂} , Па	Потенціал зміщення, U _c , В	Час, хв.	Температура	Адгезія	Мікро твердість, МПа
1	Ст. 20 × 13	Через кожні 30 шарів Ti-TiN	0	120	3	При T _n	Добра	18000
2		Через кожні 50 шарів Ti-TiN	0	120	5	При T _n	Дуже добра	18000
3		Через кожні 100 шарів Ti-TiN	0	120	5	При T _n	Дуже добра	18000
4		Через кожні 150 шарів Ti-TiN	0	120	5	При T _n	добра	18000

Таблиця 3

Тип розряду	Щільність плазми, см ⁻³	Температура електронів, еВ	Щільність струму іонів, мА/см ²	Ступінь іонізації потоку, іон/атом
Тліючий	10 ⁷	0,15	0,001	10 ⁻⁷
Подвійний дуговий	6·10 ⁹	5	0,3	10 ⁻⁴

Таблиця 4.1

NN	1.1. Обробка в плазмі тліючого розряду:						1.2 Обробка в високощільній аргонівій плазмі					
	Технологічні параметри			Характеристики плазми			Технологічні параметри			Характеристики плазми		
	Напруга Uс, В	тиск Ar, P _{N2} , Па	час, хв.	Щільність плазми n, см ⁻³	темпер. електр. T, еВ	ступінь іонізації α, іон/атом.	струм Ір, А	Напр. U, В	тиск Ar, P _{N2} , Па	Щільн. плазми n, см ⁻³	темпер. електр. T, еВ	ступінь іонізації α, іон/атом.
Тліючий 1.1												
1.1	800	1·10 ⁻¹	15	1·10 ⁷	0,1	10 ⁻⁷						
1.2	1300	1·10 ⁻¹	30	2·10 ⁷	0,15	10 ⁻⁷						
Тліючий + іони Ті 1.1+1.3												
1.3	1300	1·10 ⁻¹	30	2·10 ⁷	0,15	10 ⁻⁷						
1.4	1300	1·10 ⁻¹	30	2·10 ⁷	0,15	10 ⁻⁷						
Тліючий + ДВДР + іони Ті 1.1+1.2+1.3												
1.5	1300	1·10 ⁻¹	30	2·10 ⁷	0,15	10 ⁻⁷	100	100	1·10 ⁻³	6·10 ⁹	5	
1.6	1300	1·10 ⁻¹	30	2·10 ⁷	0,15	10 ⁻⁷	120	200	1·10 ⁻³	6·10 ⁹	5	10 ⁻⁴
1.7	1300	1·10 ⁻¹	30	2·10 ⁷	0,15	10 ⁻⁷	120	500	1·10 ⁻³	6·10 ⁹	5	10 ⁻⁴

Таблиця 4.2

NN	1.3. Обробка металевими іонами						Характеристики загального покриття		
	Технологічні параметри			Характеристики плазми			Адгезія	Загальна товщина, мкм	Мікротвердість, МПа
	струм Ір(Ті), А	напр. Uс, В	час, хв	енергія іонів еВ	Щільність струму j, мА/см ²	час хв.			
Тліючий 1.1									
1.1							Задовільна	15	20000
1.2							Задовільна	17	19000
Тліючий + іони Ті 1.1+1.3									
1.3	100	90	10	300	0,1	15	Добра	15	19000
1.4	120	100	15	1000	0,2	30	Добра	13	19000
Тліючий + ДВДР + іони Ті 1.1+1.2+1.3									
1.5	120	100	15	1000	0,2	30	Дуже добра	20	18000
1.6	120	100	15	1000	0,2	30	Дуже добра	20	17000
1.7	120	100	15	1000	0,2	30	Дуже добра	25	19000

Нанесення покриттів здійснювалося при оптимальних режимах процесу (п. 1.5 табл. 1, п. 2 табл. 2).

Таблиця 5

NN	Зони розміщення зразків-свідків		Характеристики загального покриття		
			Адгезія	Загальна товщина, мкм	Мікротвердість, МПа
1	на випуклих поверхнях	(L ₁ =100 см)	Дуже добра	15	20000
2		(L ₂ =500 см)	Дуже добра	16	20000
3		(L ₃ =1000 см)	Дуже добра	17	19000
4	на вигнутих поверхнях	(L ₁ =100 см)	Дуже добра	15	20000
5		(L ₂ =500 см)	Дуже добра	16	20000
6		(L ₃ =1000 см)	Дуже добра	17	19000
7	в зоні бандажу		Дуже добра	19	18000
8	в зоні пера лопатки		Дуже добра	20	18000
9	в зоні замкової частини		Дуже добра	12	20000

L - відстань від замка лопатки

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

- 5 1. Спосіб отримання ерозійно стійкого багат шарового покриття для лопаток турбомашин, що включає вакуумно-плазмове нанесення металевого підшарку та шарів на підставі нітридів титану, які формують при обертанні лопаток відносно власної осі, який **відрізняється** тим, що вакуумно-плазмове нанесення металевого підшарку передують послідовно три етапи очищення поверхні, що включають обробку поверхні виробу в плазмі тліючого розряду інертного газу аргону, обробку поверхні в високощільній плазмі двоступеневого вакуумно-дугового розряду інертного газу аргону і, останнє, іонну обробку металевими іонами.
- 10 2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що процеси багатоступеневого іонно-плазмового очищення, наступного вакуум-дугового осадження захисного ерозійно стійкого покриття, що містить шари на основі нітриду титану, і стабілізуючого відпалу покриття проводять в одному вакуумному об'ємі в єдиному технологічному циклі.
- 15 3. Спосіб по п. 1, який **відрізняється** тим, що в процесі нанесення покриття здійснюють стабілізуючий відпал через кожні 50 шарів при тій же температурі без нанесення покриття шляхом відключення подачі азоту і підвищенні потенціалу зміщення на деталі для припинення нанесення покриття.
- 20 4. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що проведення процесу іонно-плазмового очищення та формування шарів з заданими періодами, що повторюються, і товщинами окремих шарів при вакуум-дуговому осадженні захисного покриття здійснюють програмно заданими циклограмами, що забезпечують програмно-синхронізоване керування регуляторами тиску інертного та реакційного газів та електричними параметрами процесу.
- 25

Комп'ютерна верстка Л. Литвиненко

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601